UNIVERSITÉ HENRI POINCARÉ, NANCY 1 FACULTÉ DE MÉDECINE DE NANCY

2002 N°

THÈSE

pour obtenir le grade de

DOCTEUR EN MÉDECINE

Présentée et soutenue publiquement
dans le cadre du troisième cycle de Médecine Spécialisée

par

Emile PHAN CHAN THE

Le 24 octobre 2002

INTÉRÊTS ET LIMITES DE L'ÉVALUATION DE LA CHARGE DE TRAVAIL À L'AIDE DES ÉCHELLES DE BORG

Examinateurs de la thèse :

M. G. PETIET	Professeur	Président
M. D. ANTHOINE	Professeur	Juge
M. H.-J. SMOLIK	Professeur	Juge
M. Ph. HAOUZI	Professeur	Juge
M. J.-P. MEYER	Docteur en Médecine	Juge - Directeur de thèse

UNIVERSITÉ HENRI POINCARÉ, NANCY I

FACULTÉ DE MÉDECINE DE NANCY

Président de l'Université : Professeur Claude BURLET

Doyen de la Faculté de Médecine : Professeur Jacques ROLAND

Vice-Doyen de la Faculté de Médecine : Professeur Hervé VESPIGNANI

Assesseurs

du 1er Cycle : **Mme le Docteur Chantal KOHLER**
du 2ème Cycle : **Mr le Professeur Jean-Pierre BRONOWICKI**
du 3ème Cycle : **Mr le Professeur Henry COUDANE**
de la Vie Facultaire : **Mr le Professeur Bruno LEHEUP**

DOYENS HONORAIRES

Professeur Adrien DUPREZ – Professeur Jean-Bernard DUREUX
Professeur Georges GRIGNON

PROFESSEURS HONORAIRES

Louis PIERQUIN – Etienne LEGAIT – Jean LOCHARD – René HERBEUVAL – Gabriel FAIVRE – Jean-Marie FOLIGUET
Guy RAUBER – Paul SADOUL – Raoul SENAULT – Pierre ARNOULD – Roger BENICHOUX – Marcel RIBON
Jacques LACOSTE – Jean BEUREY – Jean SOMMELET – Pierre HARTEMANN – Emile de LAVERGNE
Augusta TREHEUX – Michel MANCIAUX – Paul GUILLEMIN – Pierre PAYSANT
Jean-Claude BURDIN – Claude CHARDOT – Jean-Bernard DUREUX – Jean DUHEILLE – Jean-Pierre GRILLIAT
Pierre LAMY – Jean-Marie GILGENKRANTZ – Simone GILGENKRANTZ
Pierre ALEXANDRE – Robert FRISCH – Michel PIERSON – Jacques ROBERT
Gérard DEBRY – Georges GRIGNON – Pierre TRIDON – Michel WAYOFF – François CHERRIER – Oliéro GUERCI
Gilbert PERCEBOIS – Claude PERRIN – Jean PREVOT – Pierre BERNADAC – Jean FLOQUET
Alain GAUCHER – Michel LAXENAIRE – Michel BOULANGE – Michel DUC – Claude HURIET – Pierre LANDES
Alain LARCAN – Gérard VAILLANT – Daniel ANTHOINE – Pierre GAUCHER – René-Jean ROYER
Hubert UFFHOLTZ – Jacques LECLERE – Francine NABET – Jacques BORRELLY
Michel RENARD – Jean-Pierre DESCHAMPS – Pierre NABET – Marie-Claire LAXENAIRE – Adrien DUPREZ – Paul VERT

==========

PROFESSEURS DES UNIVERSITÉS - PRATICIENS HOSPITALIERS

(Disciplines du Conseil National des Universités)

42ème Section : MORPHOLOGIE ET MORPHOGENÈSE
1ère sous-section : *(Anatomie)*
Professeur Jacques ROLAND – Professeur Gilles GROSDIDIER
Professeur Pierre LASCOMBES – Professeur Marc BRAUN
2ème sous-section : *(Cytologie et histologie)*
Professeur Bernard FOLIGUET
3ème sous-section : *(Anatomie et cytologie pathologiques)*
Professeur François PLENAT - Professeur Jean-Michel VIGNAUD – Professeur Eric LABOUYRIE

43ème Section : BIOPHYSIQUE ET IMAGERIE MÉDICALE
1ère sous-section : *(Biophysique et médecine nucléaire)*
Professeur Alain BERTRAND – Professeur Gilles KARCHER – Professeur Pierre-Yves MARIE
2ème sous-section : *(Radiologie et imagerie médicale)*
Professeur Jean-Claude HOEFFEL – Professeur Luc PICARD – Professeur Denis REGENT
Professeur Michel CLAUDON – Professeur Serge BRACARD – Professeur Alain BLUM
Professeur Jacques FELBLINGER

44ème Section : BIOCHIMIE, BIOLOGIE CELLULAIRE ET MOLÉCULAIRE, PHYSIOLOGIE ET NUTRITI

1ère sous-section : *(Biochimie et biologie moléculaire)*

Professeur Jean-Pierre NICOLAS

Professeur Jean-Louis GUÉANT – Professeur Jean-Luc OLIVIER

2ème sous-section : *(Physiologie)*

Professeur Jean-Pierre CRANCE – Professeur Jean-Pierre MALLIE

Professeur François MARCHAL – Professeur Philippe HAOUZI

3ème sous-section : *(Biologie cellulaire)*

Professeur Claude BURLET

4ème sous-section : *(Nutrition)*

Professeur Olivier ZIEGLER

45ème Section : MICROBIOLOGIE, MALADIES TRANSMISSIBLES ET HYGIÈNE

1ère sous-section : *(Bactériologie – virologie ; hygiène hospitalière)*

Professeur Alain LE FAOU

2ème sous-section : *(Parasitologie et mycologie)*

Professeur Bernard FORTIER

3ème sous-section : *(Maladies infectieuses ; maladies tropicales)*

Professeur Philippe CANTON – Professeur Thierry MAY – Professeur Christian RABAUD

46ème Section : SANTÉ PUBLIQUE, ENVIRONNEMENT ET SOCIÉTÉ

1ère sous-section : *(Épidémiologie, économie de la santé et prévention)*

Professeur Philippe HARTEMANN – Professeur Serge BRIANÇON

Professeur Francis GUILLEMIN – Professeur Denis ZMIROU

2ème sous-section : *(Médecine et santé au travail)*

Professeur Guy PETIET

3ème sous-section : *(Médecine légale et droit de la santé)*

Professeur Henry COUDANE

4ème sous-section : *(Biostatistiques, informatique médicale et technologies de communication)*

Professeur Bernard LEGRAS – Professeur François KOHLER

47ème Section : CANCÉROLOGIE, GÉNÉTIQUE, HÉMATOLOGIE, IMMUNOLOGIE

1ère sous-section : *(Hématologie ; transfusion)*

Professeur Christian JANOT – Professeur Thomas LECOMPTE – Professeur Pierre BORDIGONI

Professeur Pierre LEDERLIN – Professeur Jean-François STOLTZ

2ème sous-section : *(Cancérologie ; radiothérapie)*

Professeur François GUILLEMIN – Professeur Thierry CONROY

Professeur Pierre BEY – Professeur Didier PEIFFERT

3ème sous-section : *(Immunologie)*

Professeur Gilbert FAURE – Professeur Marie-Christine BENE

4ème sous-section : *(Génétique)*

Professeur Philippe JONVEAUX – Professeur Bruno LEHEUP

48ème Section : ANESTHÉSIOLOGIE, RÉANIMATION, MÉDECINE D'URGENCE, PHARMACOLOGIE ET THÉRAPEUTIQUE

1ère sous-section : *(Anesthésiologie et réanimation chirurgicale)*

Professeur Claude MEISTELMAN – Professeur Dan LONGROIS - Professeur Hervé BOUAZIZ – Professeur Paul-Michel

2ème sous-section : *(Réanimation médicale)*

Professeur Henri LAMBERT – Professeur Alain GERARD – Professeur Bruno LÉVY

Professeur Pierre-Edouard BOLLAERT

3ème sous-section : *(Pharmacologie fondamentale ; pharmacologie clinique)*

Professeur Patrick NETTER – Professeur Pierre GILLET

4ème sous-section : *(Thérapeutique)*

Professeur François PAILLE – Professeur Gérard GAY – Professeur Faiez ZANNAD

49ème Section : PATHOLOGIE NERVEUSE ET MUSCULAIRE, PATHOLOGIE MENTALE, HANDICAP et RÉÉDUCATION

1ère sous-section : *(Neurologie)*
Professeur Michel WEBER – Professeur Gérard BARROCHE – Professeur Hervé VESPIGNANI
Professeur Xavier DUCROCQ

2ème sous-section : *(Neurochirurgie)*
Professeur Henri HEPNER – Professeur Jean-Claude MARCHAL – Professeur Jean AUQUE
Professeur Thierry CIVIT

3ème sous-section : *(Psychiatrie d'adultes)*
Professeur Jean-Pierre KAHN

4ème sous-section : *(Pédopsychiatrie)*
Professeur Colette VIDAILHET – Professeur Daniel SIBERTIN-BLANC

5ème sous-section : *(Médecine physique et de réadaptation)*
Professeur Jean-Marie ANDRE

50ème Section : PATHOLOGIE OSTÉO-ARTICULAIRE, DERMATOLOGIE et CHIRURGIE PLASTIQUE

1ère sous-section : *(Rhumatologie)*
Professeur Jacques POUREL – Professeur Isabelle VALCKENAERE

2ème sous-section : *(Chirurgie orthopédique et traumatologique)*
Professeur Daniel SCHMITT – Professeur Jean-Pierre DELAGOUTTE – Professeur Daniel MOLE
Professeur Didier MAINARD

3ème sous-section : *(Dermato-vénéréologie)*
Professeur Jean-Luc SCHMUTZ – Professeur Annick BARBAUD

4ème sous-section : *(Chirurgie plastique, reconstructrice et esthétique)*
Professeur François DAP

51ème Section : PATHOLOGIE CARDIORESPIRATOIRE et VASCULAIRE

1ère sous-section : *(Pneumologie)*
Professeur Jean-Marie POLU - Professeur Yves MARTINET
Professeur Jean-François CHABOT

2ème sous-section : *(Cardiologie)*
Professeur Etienne ALIOT – Professeur Yves JUILLIERE – Professeur Nicolas SADOUL –
Professeur Christian de CHILLOU de CHURET

3ème sous-section : *(Chirurgie thoracique et cardiovasculaire)*
Professeur Pierre MATHIEU – Professeur Jean-Pierre VILLEMOT
Professeur Jean-Pierre CARTEAUX – Professeur Loïc MACE

4ème sous-section : *(Chirurgie vasculaire ; médecine vasculaire)*
Professeur Gérard FIEVE

52ème Section : MALADIES DES APPAREILS DIGESTIF et URINAIRE

1ère sous-section : *(Gastroentérologie ; hépatologie)*
Professeur Marc-André BIGARD
Professeur Jean-Pierre BRONOWICKI

2ème sous-section : *(Chirurgie digestive)*
-

3ème sous-section : *(Néphrologie)*
Professeur Michèle KESSLER – Professeur Dominique HESTIN (Mme)

4ème sous-section : *(Urologie)*
Professeur Philippe MANGIN – Professeur Jacques HUBERT

53ème Section : MÉDECINE INTERNE, GÉRIATRIE et CHIRURGIE GÉNÉRALE

1ère sous-section : *(Médecine interne)*
Professeur Gilbert THIBAUT – Professeur Francis PENIN
Professeur Denise MONERET-VAUTRIN – Professeur Denis WAHL
Professeur Jean DE KORWIN KROKOWSKI – Professeur Pierre KAMINSKY – Professeur Athanase BENETOS
Professeur Gisèle KANNY

2ème sous-section : *(Chirurgie générale)*
Professeur Patrick BOISSEL – Professeur Laurent BRESLER

54ème Section : DÉVELOPPEMENT ET PATHOLOGIE DE L'ENFANT, GYNÉCOLOGIE-OBSTÉTRIQUE, ENDOCRINOLOGIE ET REPRODUCTION

1ère sous-section : *(Pédiatrie)*

Professeur Danièle SOMMELET – Professeur Michel VIDAILHET

Professeur Pierre MONIN – Professeur Jean-Michel HASCOET – Professeur Pascal CHASTAGNER

2ème sous-section : *(Chirurgie infantile)*

Professeur Michel SCHMITT – Professeur Gilles DAUTEL

3ème sous-section : *(Gynécologie-obstétrique ; gynécologie médicale)*

Professeur Michel SCHWEITZER – Professeur Jean-Louis BOUTROY

Professeur Philippe JUDLIN – Professeur Patricia BARBARINO

4ème sous-section : *(Endocrinologie et maladies métaboliques)*

Professeur Pierre DROUIN – Professeur Georges WERYHA – Professeur Marc KLEIN

5ème sous-section : *(Biologie et médecine du développement et de la reproduction)*

Professeur Hubert GERARD

55ème Section : PATHOLOGIE DE LA TÊTE ET DU COU

1ère sous-section : *(Oto-rhino-laryngologie)*

Professeur Claude SIMON – Professeur Roger JANKOWSKI

2ème sous-section : *(Ophtalmologie)*

Professeur Antoine RASPILLER – Professeur Jean-Luc GEORGE – Professeur Jean-Paul BERROD

3ème sous-section : *(Chirurgie maxillo-faciale et stomatologie)*

Professeur Michel STRICKER – Professeur Jean-François CHASSAGNE

==========

PROFESSEURS DES UNIVERSITÉS

27ème section : INFORMATIQUE

Professeur Jean-Pierre MUSSE

64ème Section : BIOCHIMIE ET BIOLOGIE MOLÉCULAIRE

Professeur Daniel BURNEL

==========

PROFESSEUR ASSOCIÉ

Épidémiologie, économie de la santé et prévention

Professeur Tan XIAODONG

==========

MAÎTRES DE CONFÉRENCES DES UNIVERSITÉS - PRATICIENS HOSPITALIERS

42ème Section : MORPHOLOGIE ET MORPHOGENÈSE

1ère sous-section : *(Anatomie)*

Docteur Bruno GRIGNON – Docteur Jean-Pascal FYAD

2ème sous-section : *(Cytologie et histologie)*

Docteur Edouard BARRAT – Docteur Jean-Claude GUEDENET

Docteur Françoise TOUATI – Docteur Chantal KOHLER

3ème sous-section : *(Anatomie et cytologie pathologiques)*

Docteur Yves GRIGNON – Docteur Béatrice MARIE

Docteur Laurent ANTUNES

43ème Section : BIOPHYSIQUE ET IMAGERIE MÉDICALE
1ère sous-section : ***(Biophysique et médecine nucléaire)***
Docteur Marie-Hélène LAURENS – Docteur Jean-Claude MAYER
Docteur Pierre THOUVENOT – Docteur Jean-Marie ESCANYE – Docteur Amar NAOUN

44ème Section : BIOCHIMIE, BIOLOGIE CELLULAIRE ET MOLÉCULAIRE, PHYSIOLOGIE ET NUTRITION
1ère sous-section : ***(Biochimie et biologie moléculaire)***
Docteur Xavier HERBEUVAL – Docteur Jean STRACZEK
Docteur Sophie FREMONT – Docteur Isabelle GASTIN – Dr Bernard NAMOUR
2ème sous-section : ***(Physiologie)***
Docteur Gérard ETHEVENOT – Docteur Nicole LEMAU de TALANCE – Christian BEYAERT

45ème Section : MICROBIOLOGIE, MALADIES TRANSMISSIBLES ET HYGIÈNE
1ère sous-section : ***(Bactériologie – Virologie ; hygiène hospitalière)***
Docteur Francine MORY – Docteur Michèle WEBER – Docteur Christine LION
Docteur Michèle DAILLOUX – Docteur Alain LOZNIEWSKI – Docteur Véronique VENARD
2ème sous-section : ***(Parasitologie et mycologie)***
Docteur Marie-France BIAVA – Docteur Nelly CONTET-AUDONNEAU

46ème Section : SANTÉ PUBLIQUE, ENVIRONNEMENT ET SOCIÉTÉ
1ère sous-section : ***(Epidémiologie, économie de la santé et prévention)***
Docteur Mickaël KRAMER – Docteur François ALLA
4ère sous-section : ***(Biostatistiques, informatique médicale et technologies de communication (type biologique)***
Docteur Pierre GILLOIS

47ème Section : CANCÉROLOGIE, GÉNÉTIQUE, HÉMATOLOGIE, IMMUNOLOGIE
1ère sous-section : ***(Hématologie ; transfusion)***
Docteur Jean-Claude HUMBERT – Docteur François SCHOONEMAN
3ème sous-section : ***(Immunologie)***
Docteur Marie-Nathalie SARDA
4ème sous-section : ***(Génétique)***
Docteur Christophe PHILIPPE

48ème Section : ANESTHÉSIOLOGIE, RÉANIMATION, MÉDECINE D'URGENCE, PHARMACOLOGIE ET THÉRAPEUTIQUE
1ère sous-section : ***(Anesthésiologie et réanimation chirurgicale)***
Docteur Jacqueline HELMER – Docteur Gérard AUDIBERT
3ème sous-section : ***(Pharmacologie fondamentale ; pharmacologie clinique)***
Docteur Françoise LAPICQUE – Docteur Marie-José ROYER-MORROT
Docteur Damien LOEUILLE

54ème Section : DÉVELOPPEMENT ET PATHOLOGIE DE L'ENFANT, GYNÉCOLOGIE-OBSTÉTRIQUE, ENDOCRINOLOGIE ET REPRODUCTION
5ème sous-section : ***(Biologie et médecine du développement et de la reproduction)***
Docteur Jean-Louis CORDONNIER

==========

MAÎTRES DE CONFÉRENCES

19ème section : SOCIOLOGIE, DÉMOGRAPHIE
Madame Michèle BAUMANN

32ème section : CHIMIE ORGANIQUE, MINÉRALE, INDUSTRIELLE
Monsieur Jean-Claude RAFT

40ème section : SCIENCES DU MÉDICAMENT
Monsieur Jean-Yves JOUZEAU

60ème section : MÉCANIQUE, GÉNIE MÉCANIQUE ET GÉNIE CIVILE
Monsieur Alain DURAND

64ème section : BIOCHIMIE ET BIOLOGIE MOLÉCULAIRE
Madame Marie-Odile PERRIN – Mademoiselle Marie-Claire LANHERS

65ème section : BIOLOGIE CELLULAIRE
Mademoiselle Françoise DREYFUSS – Monsieur Jean-Louis GELLY – Madame Anne GERARD
Madame Ketsia HESS – Monsieur Pierre TANKOSIC – Monsieur Hervé MEMBRE

67ème section : BIOLOGIE DES POPULATIONS ET ÉCOLOGIE
Madame Nadine MUSSE

68ème section : BIOLOGIE DES ORGANISMES
Madame Tao XU-JIANG

======

MAÎTRES DE CONFÉRENCES ASSOCIÉS
Médecine Générale
Docteur Alain AUBREGE
Docteur Louis FRANCO

========

PROFESSEURS ÉMÉRITES

Professeur Georges GRIGNON – Professeur Michel PIERSON
Professeur Michel BOULANGE – Professeur Alain LARCAN – Professeur Michel DUC
Professeur Michel WAYOFF – Professeur Daniel ANTHOINE – Professeur Claude HURIET
Professeur Hubert UFFHOLTZ – Professeur René-Jean ROYER
Professeur Pierre GAUCHER – Professeur Claude CHARDOT – Professeur Adrien DUPREZ

==========

DOCTEURS HONORIS CAUSA

Professeur Norman SHUMWAY (1972)
Université de Stanford, Californie (U.S.A)
Professeur Paul MICHIELSEN (1979)
Université Catholique, Louvain (Belgique)
Professeur Charles A. BERRY (1982)
Centre de Médecine Préventive, Houston (U.S.A)
Professeur Pierre-Marie GALETTI (1982)
Brown University, Providence (U.S.A)
Professeur Mamish Nisbet MUNRO (1982)
Massachusetts Institute of Technology (U.S.A)
Professeur Mildred T. STAHLMAN (1982)
Wanderbilt University, Nashville (U.S.A)
Professeur Harry J. BUNCKE (1989)
Université de Californie, San Francisco (U.S.A)
Professeur Théodore H. SCHIEBLER (1989)
Institut d'Anatomie de Würtzburg (R.F.A)
Professeur Maria DELIVORIA-PAPADOPOULOS (1996)
Université de Pennsylvanie (U.S.A)

Professeur Mashaki KASHIWARA (1996)
Research Institute for Mathematical Sciences de Kyoto (JAPON)
Professeur Ralph GRÄSBECK (1996)
Université d'Helsinki (FINLANDE)
Professeur James STEICHEN (1997)
Université d'Indianapolis (U.S.A)
Professeur Duong Quang TRUNG (1997)
Centre Universitaire de Formation et de Perfectionnement des Professionnels de Santé d'Hô Chi Minh-Ville (VIÊTNAM)

A notre Maître et Président de thèse,

Monsieur le Professeur Guy PETIET,

Professeur de Médecine du Travail et des Risques Professionnels

Directeur de l'Institut de Médecine du Travail de Lorraine.

Vous avez bien voulu nous faire l'honneur d'accepter la présidence du jury de cette thèse.

Nous vous exprimons ici notre gratitude et notre profond respect.

A nos juges,

Monsieur le Professeur Daniel ANTHOINE,

Professeur Émérite de Pneumologie,

Officier dans l'Ordre des Palmes Académiques,

Vous avez bien voulu nous faire l'honneur de juger ce travail.

Veuillez trouver ici l'expression de notre respectueuse gratitude.

Monsieur le Professeur Henri-Jacques SMOLIK,

Professeur de Médecine du Travail et des Risques Professionnels,

Président de l'Institut de Médecine du Travail et d'Ergonomie de Bourgogne-Franche Comté.

Nous vous remercions de l'intérêt que vous avez bien voulu porter à ce travail et de l'honneur que vous nous portez en acceptant d'être notre juge.

Monsieur le Professeur Philippe HAOUZI,

Professeur de Physiologie,

Vous avez accepté avec enthousiasme de parfaire le jury de cette thèse.

Veuillez trouver ici l'expression de nos plus profonds remerciements.

Monsieur le Docteur Jean-Pierre MEYER,

Docteur en Médecine,

Médecin Chercheur à l'Institut National de Recherche et de Sécurité (I.N.R.S.),

Responsable du Laboratoire de Physiologie du Travail, Département Homme au Travail, à l'I.N.R.S.

Vous nous avez proposé ce sujet éminemment innovant.

Vous avez accepté de diriger ce travail. Votre écoute, vos conseils et vos remarques nous ont permis de mener à bien cette thèse.

Veuillez croire ici en nos sincères sentiments amicaux.

A mes très chers grands parents, Henri et Catherine

A mes parents, Denis et Kim-Liêng

A Gaston et Richard, mes 2 petits frères

A Geneviève et Fanny, mes 2 petites sœurs

A tout le reste de ma famille

Pour tout l'amour qu'ils m'ont témoigné et leur soutien sans faille.

A Madame Emmanuelle TURPIN-LEGENDRE,

Physiologiste et Chercheur à l'I.N.R.S.,

Qu'elle reçoive ici mes salutations les plus cordiales pour son aide au cours de ce travail.

A toute l'équipe du Département Homme au Travail de l'I.N.R.S.,

A Marc, Laurence, François H., Gérard, Jean-Charles, Bernadette, Michel,

Agnès, François C., Laurent, Cécile, Anne et Francis,

Pour leur disponibilité et leur accueil amical.

SERMENT

"Au moment d'être admis à exercer la médecine, je promets et je jure d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité. Mon premier souci sera de rétablir, de préserver ou de promouvoir la santé dans tous ses éléments, physiques et mentaux, individuels et sociaux. Je respecterai toutes les personnes, leur autonomie et leur volonté, sans aucune discrimination selon leur état ou leurs convictions. J'interviendrai pour les protéger si elles sont affaiblies, vulnérables ou menacées dans leur intégrité ou leur dignité. Même sous la contrainte, je ne ferai pas usage de mes connaissances contre les lois de l'humanité. J'informerai les patients des décisions envisagées, de leurs raisons et de leurs conséquences. Je ne tromperai jamais leur confiance et n'exploiterai pas le pouvoir hérité des circonstances pour forcer les consciences. Je donnerai mes soins à l'indigent et à quiconque me les demandera. Je ne me laisserai pas influencer par la soif du gain ou la recherche de la gloire.

Admis dans l'intimité des personnes, je tairai les secrets qui me sont confiés. Reçu à l'intérieur des maisons, je respecterai les secrets des foyers et ma conduite ne servira pas à corrompre les mœurs. Je ferai tout pour soulager les souffrances. Je ne prolongerai pas abusivement les agonies. Je ne provoquerai jamais la mort délibérément.

Je préserverai l'indépendance nécessaire à l'accomplissement de ma mission. Je n'entreprendrai rien qui dépasse mes compétences. Je les entretiendrai et les perfectionnerai pour assurer au mieux les services qui me seront demandés.

J'apporterai mon aide à mes confrères ainsi qu'à leurs familles dans l'adversité.

Que les hommes et mes confrères m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses ; que je sois déshonoré et méprisé si j'y manque".

TABLE DES MATIERES

INDEX DES TABLEAUX

INDEX DES FIGURES

1. INTRODUCTION

Le monde du travail présente différentes contraintes et il existe de multiples façons de les appréhender. Malgré le développement du secteur tertiaire avec ses propres contraintes, la charge physique de travail des salariés reste importante dans de nombreuses situations de travail (*32*). Une démarche de prévention efficace impose l'évaluation des risques de ces situations de travail. L'action de prévention du médecin du travail le rend acteur de ces évaluations.

Il existe différentes méthodes pour évaluer cette contrainte. Des indicateurs objectifs physiologiques (fréquence cardiaque, pression artérielle, dépense énergétique, ventilation pulmonaire) (*7*, *26*, *53*, *97*, *98*, *99*, *100*, *101*, *108*, *109*, *155*, *159*, *164*, *172*) sont utilisés pour évaluer la charge de travail globale. Ils peuvent être associés à des enregistrements électromyographiques (*7*, *30*, *101*, *108*) comme indicateurs de charge locale. Les contraintes professionnelles peuvent aussi être évaluées par des indicateurs d'astreinte subjective (*12*, *100*, *101*, *109*, *116*) tels que les échelles de Borg (*11*, *12*, *13*, *14*, *15*, *16*, *17*, *18*, *19*).

Les outils disponibles d'évaluation objective de la charge de travail précédemment cités restent compliqués à utiliser pour les préventeurs de terrain. Les échelles de Borg représentent donc une alternative intéressante. Meyer et al. (*101*) en ont fait une première traduction française en 1987**,** point de départ de ce travail.

Le champ d'application de ces évaluations est vaste. Elles peuvent être un outil complémentaire aux méthodes objectives pour une évaluation ergonomique de la charge de travail. Les pathologies professionnelles à prévenir sont multiples et variées (*29*, *32*). La charge de travail pesant sur l'appareil locomoteur est à l'origine du plus grand nombre de pathologies professionnelles reconnues au cours de ces dernières années. Ainsi, en 10 ans, de 1987 à 1997, le nombre de maladies professionnelles (MP) reconnues au titre du tableau n°57 (affections péri-articulaires provoquées par certains gestes et postures de travail) a plus que décuplé, passant de 646 à 7305 cas (x11) et elles représentent 2/3 (7305/11360) des MP déclarées en 1997 (*29*).

L'objectif de ce travail est de présenter les intérêts, les limites et les contraintes d'utilisation de l'évaluation de la charge de travail à l'aide des échelles de Borg afin de proposer au préventeur un outil simple d'évaluation du risque.

2. REVUE DE LA LITTERATURE

Ce chapitre va aborder les thèmes suivants : définir le travail et ses composantes (travail physique et mental, charge de travail, physiologie du travail) ; présenter l'évolution des échelles de Borg et le support théorique du concept de ce type d'échelles et enfin, donner des exemples d'applications pratiques publiées dans la littérature. Chaque exemple est accompagné si nécessaire d'un bref rappel théorique des notions de physiologie qui l'expliquent.

2.1 LE TRAVAIL

2.1.1 Définitions

Le mot "travail" (*109*) est utilisé dans le langage courant pour désigner des réalités bien différentes, ce qui est source de confusion. Le Robert* en donne plusieurs définitions. Le travail est :

1) une activité pénible ;
2) l'ensemble des activités humaines coordonnées en vue de produire quelque chose ;
3) l'activité laborieuse professionnelle et rétribuée ;
4) l'activité économique des hommes… en vue de produire des biens et des services.

Les définitions du Larousse* sont encore plus larges :

1) activité de l'homme appliquée à la production, à la création, à l'entretien ;
2) activité de transformation de la nature propre aux hommes qui les met en relation et qui est productive de valeur ;
3) toute occupation, toute activité considérée comme une charge.

Dans toutes ces définitions, le travail productif est considéré avant tout comme une source de pénibilité, à travers des termes tels que peine, charge, fatigue.

Pour l'ergonome, le travail est compris comme l'activité de conception ou de réalisation des tâches pour lequel celui qui le réalise est rémunéré.

Leplat (*109*) distingue deux aspects dans le travail : la tâche qui est assignée, c'est-à-dire "le but à atteindre et les conditions dans lesquelles il doit être atteint", et l'activité, "ce qui est mis en œuvre par le sujet pour exécuter la tâche".

Cette distinction rejoint celle que fait maintenant l'ergonomie en opposant la tâche prescrite (par le bureau des méthodes, le chef d'atelier et donc l'employeur) et le travail réel, tel que l'opérateur le réalise.

2.1.2 Travail physique-travail mental

Bien que toute activité humaine, professionnelle ou non, doive toujours être considérée dans sa globalité, il est habituel de porter une attention particulière soit au travail physique, soit au travail mental :

- les tâches physiques (travail manuel, travail lourd, travail de force) exercent sur l'homme des contraintes de type musculo-articulaire et énergétique ;
- les tâches psychosensorielles ou mentales exercent des contraintes dans le domaine du traitement de l'information au sens large. Le terme "activité mentale" a un sens étroit, ne désignant que les activités pendant lesquelles le système musculaire n'est pas fortement sollicité.

Dans cette opposition, il est sous-entendu que les tâches sont respectivement à prédominance musculaire ou psychosensorielle mais que les deux aspects coexistent en proportions variables.

2.1.3 Charge de travail

Les conditions dans lesquelles l'homme est amené à travailler, volontiers ou par force, constituent des **contraintes**, dont chacune représente un facteur de charge. A ces contraintes physiques (thermiques, sonores, musculaires, posturales, etc…), l'organisme humain répond par des **astreintes**, manifestations biologiques (tachycardie, sudation, etc…) et psychophysiologiques (perceptives ou cognitives), qui témoignent des effets de l'adaptation au travail et à son environnement.

D'après Monod et Kapitaniak (1999), les deux termes de contrainte et d'astreinte ont été proposés en 1969 par le Professeur Bernard Metz, en parallèle avec les termes anglais de stress (dans le sens d'agression imposée de l'extérieur) et de strain (réponses à l'agression ou réaction au stress).

Pour Brouha, la charge de travail, c'est ce que le travail coûte à l'organisme humain.

L'action des contraintes de travail provoque, outre les réactions de l'organisme (astreintes physiologiques), les réactions psychologiques de l'opérateur qui correspondent au jugement

qu'il porte sur sa propre charge de travail. Ce jugement ne dépend pas uniquement de l'importance des contraintes et des astreintes physiologiques, mais aussi des préférences personnelles et de la motivation pour le travail (*109*).
En regard de facteurs de charges inclus dans chaque poste de travail, il a été proposé de définir la charge de travail comme étant "les effets sur l'organisme du poids que l'homme porte sur ses épaules, au propre et au figuré, à l'occasion du travail qui lui permet de vivre et de tenir sa place dans la société, en y assumant toutes ses responsabilités, compte-tenu de ce qu'il est et du milieu qui l'entoure" (*109*).

La relation contrainte-astreinte n'est pas univoque : la contrainte de travail est la même quel que soit l'opérateur ; l'astreinte varie suivant les individus.

2.1.4 Effort et exercice

Le terme *effort* (*108*) prête à confusion car il est utilisé dans des sens très différents. A l'origine, l'effort, synonyme de blocage thoracique, a été défini comme la contraction des muscles expiratoires à glotte fermée, ce qui peut être observé au cours de l'accouchement, de la miction ou de la défécation. S'en rapproche le jeu des instruments à vent. Au cours de certaines contractions particulièrement énergiques des muscles des membres supérieurs, la nécessité de fournir un appui correct pour l'action de ceux-ci conduit parfois à un blocage thoracique à glotte fermée ou non. Par contre, un exercice musculaire réalisé à glotte fermée (course de 100 mètres, par exemple) ne peut être considéré comme un "effort statique".
Effort est souvent utilisé à la place d'exercice ou de travail. On parle en effet parfois, à tort, d'efforts statiques, d'efforts dynamiques, d'épreuves d'effort. ***L'utilisation du terme effort n'est justifiée que si l'on ajoute à la composante physiologique de l'exercice musculaire une composante psychologique***. L'effort est alors un engagement nécessaire du sujet qui lui permet de poursuivre l'exercice entrepris, qui comporte un certain degré de pénibilité pour lui, et requiert toute son attention et sa volonté. Ainsi, un exercice musculaire d'intensité donnée peut être réalisé avec ou sans effort par 2 sujets dont les capacités de travail et le degré d'entraînement sont différents.
Exercice désigne l'activité musculaire au sens large : faire de l'exercice, faire des exercices… Les tests ou épreuves sont des exercices calibrés destinés à juger de la capacité de travail d'un sujet, aboutissant en général à l'établissement d'un indice (Indice de Ruffier-Dickson, par exemple).

2.1.5 La physiologie appliquée au travail

En pratique, la physiologie du travail (*7*) consiste en l'étude des fonctions d'un organisme soumis aux multiples contraintes liées au travail physique. L'activité musculaire intervient dans la plupart des activités professionnelles, même dans celles qui font avant tout appel au travail intellectuel, et lors de toutes les manifestations de la vie. La physiologie du travail ne concerne donc pas que les travailleurs manuels. L'objectif principal du physiologiste du travail est de permettre à tous les individus d'accomplir leur tâche sans fatigue inutile et de disposer de suffisamment d'énergie à la fin de leur journée de travail pour profiter de leur loisir. Par le développement de la mécanisation, de l'automatisation et des systèmes d'asservissement mécanique, la technologie moderne a grandement contribué à éliminer le travail physique intense. Ce travail physique lourd doit cependant être fourni, ne serait-ce qu'occasionnellement, dans un certain nombre d'activités, telles que la pêche en haute mer, l'agriculture, le travail forestier, les activités du bâtiment et bon nombre d'activités de service. Très souvent, quand la charge paraît excessivement élevée, le travail ne peut être accompli que de façon intermittente, de courtes périodes de repos venant interrompre de brefs épisodes de travail. Quoi qu'il en soit, la tendance actuelle est d'éliminer le travail physique lourd, tandis que la nécessité d'accroître la productivité grâce à la rationalisation et à l'automatisation a déterminé une accélération des cadences dans la plupart des postes de travail. Le raccourcissement de la durée du travail s'est, dans l'ensemble, accompagné d'une augmentation de la tension nerveuse et de la charge émotionnelle. Dans ces conditions, le grand problème posé actuellement par un grand nombre de postes de travail, n'est pas posé par l'activité musculaire, mais par la charge mentale et les conditions ambiantes défavorables. Le physiologiste du travail doit donc, lorsqu'il est sur le terrain, arriver à déterminer la contrainte globale imposée à l'organisme par le travail lui-même et par les conditions ambiantes. L'expérience pratique ayant montré qu'il n'est pas possible d'utiliser plus de 30 à 40 % de sa puissance maximale aérobie pendant les 8 heures de travail d'une journée de travail sans qu'apparaissent des manifestations subjectives et objectives de fatigue, un des premiers problèmes qui se posent est de déterminer pour chaque poste, le rapport entre la puissance demandée et l'aptitude physique du travailleur. Si la charge qui est imposée à celui-ci sur de longues périodes représente une proportion trop élevée de sa capacité, il développera invariablement un état de fatigue, que ce travail fasse intervenir l'organisme dans son ensemble (et des groupes musculaires volumineux) ou simplement une partie de celui-ci (et des groupes musculaires de petite taille). L'activité fondamentale du physiologiste du travail

doit donc être de déterminer la puissance fournie lors de l'exécution de la tâche et d'établir le rapport entre cette puissance et la puissance maximale que peut développer le travailleur dans cette même activité.

Le rôle du médecin du travail, en tant que préventeur de terrain, semble donc incontournable, afin de trouver la meilleure adéquation possible entre l'aptitude du salarié à un poste de travail donné et les exigences relatives à la tâche prescrite.

La consommation maximale d'oxygène (VO_2 max) étant très différente d'un individu à l'autre, une charge de travail aisément supportée par un travailleur peut se révéler épuisante pour un autre. Supposons par exemple que 2 hommes aient à accomplir la même tâche qui consiste à gravir une côte en portant une lourde charge, ce qui représente une dépense énergétique correspondant à la consommation de 2 litres d'oxygène (O_2) par minute. Les VO_2 max de ces 2 individus sont respectivement de 6,0 et 2,0 l/min. Le premier de ces individus utilisera donc tout au plus 30 % de sa puissance maximale aérobie et il pourra exécuter ce travail pendant toute la journée sans ressentir de fatigue excessive, comme peut le faire tout individu utilisant moins de 40 % de sa puissance maximale aérobie. Par ailleurs, plus de la moitié de l'énergie qu'il utilise provient de l'oxydation des graisses. En revanche, l'autre travailleur utilise toutes ses ressources d'énergie aérobie. Il ne pourra donc exécuter sa tâche que pendant quelques minutes au cours desquelles toute l'énergie qu'il utilise aura été prélevée sur ses réserves glucidiques.

Le fait d'exprimer une charge de travail en valeur absolue (en litres d'oxygène consommé par minute par exemple) peut donc ne pas signifier grand chose. Il faut plutôt l'exprimer en pour cent de la puissance maximale aérobie de celui qui l'accomplit. Le rapport entre la charge et l'aptitude doit donc être établi pour chaque individu, c'est-à-dire qu'il ne faut fixer la charge de travail d'un individu qu'après avoir mesuré sa VO_2 max. On applique les mêmes principes aux groupes musculaires mis en jeu : pour éviter la fatigue, il ne faut pas que ces muscles développent plus d'un certain pourcentage de leur force maximale.

2.2 A PROPOS DE BORG ET DE SES ECHELLES

Les échelles de Borg peuvent être classées en 2 groupes : les échelles d'évaluation subjective de l'effort perçu ou échelle RPE (Ratings of Perceived Exertion scale) et les échelles CR10 (Category Ratio scale) (*11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 100, 116*).

Ces 2 échelles ont évolué dans le temps, ce paragraphe va brièvement rappeler ces évolutions.

2.2.1 La première échelle RPE de Borg

Gunnar BORG, Docteur en Psychologie et Professeur Émérite des Sciences psychophysiques et de la perception à l'Université de Stockholm, a commencé ses études de psychologie au milieu des années 1940. Ses premiers travaux sur des mesures d'évaluation subjective de l'effort perçu au cours de tâches avec forte contrainte physique ont commencé en 1958 puis publiés en 1959 avec Hans Dahlström, physiologiste de formation.

Sa thèse de psychologie intitulée "Performance physique et effort perçu" est soutenue en 1962 (*17*). Ses conclusions reposent sur les résultats d'épreuves de pédalage sur ergocycle en laboratoire chez des charpentiers volontaires d'âge moyen (N=57 ou N=137) et des jeunes bûcherons volontaires (N=42). Des mesures de fréquence cardiaque (FC) et d'astreinte subjective ont été faites. La première échelle d'évaluation subjective de l'effort perçu ou échelle RPE (Ratings of Perceived Exertion) présentée dans la figure 1 comportait 21 graduations.

0 -
1 -
2 -
3 - Extremely light
4 -
5 - Very light
6 -
7 - Light
8 -
9 - Rather light
10 -
11 - Neither light nor laborious
12 -
13 - Rather laborious
14 -
15 - Laborioux
16 -
17 - Very laborious
18 -
19 - Extremely laborious
20 -

Figure 1. Echelle d'indices en 21 graduations (21-graded rating scale, Borg 1961) (*17*)

De fortes corrélations ont été retrouvées entre les valeurs subjectives de l'effort perçu ou RPE et le coût cardiaque ou la FC (r = 0,83). Une relation linéaire a été trouvée pour RPE et FC. Ces résultats ont également été comparés à l'aspect des courbes de variation en fonction du

temps de la lactacidémie chez les cyclistes et élargissent ainsi le champ de la recherche du domaine de la perception aux adaptations biologiques (*12, 17, 116*).
Une autre problématique de recherche de Borg concernait l'interprétation des résultats psychophysiques en tenant compte de la sémantique utilisée pour les annotations verbales. La dimension socioculturelle est importante pour cette analyse qualitative des réponses afin d'y faire correspondre les valeurs quantitatives numériques associées. Ainsi, pour la première échelle RPE (fig. 1), l'adjectif "laborieux" est utilisé chez une population de travailleurs de force (charpentiers et bûcherons). Par la suite (figure 2 et 3), Borg modifiait certaines annotations verbales au gré de ses connaissances et de ses travaux afin de les rendre compréhensives de façon la plus homogène possible par des populations variées.

Cette échelle a été présentée par Borg pour la première fois au cours d'un séminaire de Physiologie en Suède en 1966.

2.2.2 Evolution des échelles

2.2.2.1 Echelles d'évaluation subjective de l'effort perçu (RPE)

En 1990, Borg a présenté une évolution en 15 niveaux (de 6 à 20) de l'échelle initiale en 21 niveaux de 1961 (*11*, *17*). Cette nouvelle échelle est présentée dans la figure 2.

6	No exertion at all
7	Extremely light
8	
9	Very light
10	
11	Light
12	
13	Somewhat hard
14	
15	Hard (heavy)
16	
17	Very hard
18	
19	Extremely hard
20	Maximal exertion

Figure 2. Echelle d'évaluation subjective de l'effort perçu de Borg (1990, 1998)(*11*)

Meyer (*100*) proposa une traduction française des annotations verbales de cette échelle.

Au cours de certains de ses travaux (1971), Borg avait constaté qu'au point RPE 17 correspondait une fréquence cardiaque (FC) de 170 bpm lors d'exercices de pédalage sur bicycle ergométrique avec augmentation de la charge toutes les 6 minutes chez une population de sujets adultes d'âge moyen, la FC étant reconnue comme un bon indicateur de l'astreinte physiologique au cours d'un exercice.
Au cours d'un exercice physique d'intensité croissante allant du repos à l'effort maximum, la FC moyenne d'un groupe de sujets jeunes et actifs passe de 60 à 200 battements par minute (bpm) (*12*).
Borg en déduit une relation entre le RPE et la FC de la forme :

FC = RPE x 10

L'échelle RPE a donc été construite pour avoir une relation linéaire avec la FC et la VO_2 au cours d'un exercice de pédalage pour être étendue par la suite aux exercices physiques de course à pied.
L'échelle en 21 graduations de 1961 (RPE 0-20) n'étant pas linéaire avec la FC, elle fut remplacée en 1971 par l'échelle en 15 graduations (RPE 6-20). Le point 6 est le nouveau point de départ de l'échelle car la FC de repos estimée pour beaucoup d'adultes est autour de 60 bpm (60 = 6 x 10).
De fait, ce n'est donc pas une échelle de classement car elle ne comportait pas de valeur zéro absolue. Des changements mineurs à certains adjectifs ont été réalisés par la suite en 1985 puis en 1998 (*11*). Cette équation a été souvent discutée par la suite dans de multiples situations avec différents sujets et des conditions expérimentales et environnementales variées.
Ainsi, l'équation FC = RPEx10 semble ne pas être valide pour les exercices physiques à charge constante et exhaustive. Par conséquent, la relation RPE-FC recueillie lors des tests de pédalage à puissance progressive sur ergocycle doit être utilisée avec précaution. L'indice RPE semble être plus une estimation subjective de la dureté d'un exercice physique que de son intensité au cours d'épreuves d'effort d'intensité modérée. Le RPEmu (mu pour muscle) est alors plus pertinent que le RPE total lors des exercices de pédalage (*60*).
Borg (1982) reconnaissait lui-même que la valeur prédictive de cette équation ne devrait pas être prise au sens littéral du terme puisque les causes de variation de la FC sont multifactorielles (âge, genre, environnement physique, état d'anxiété, etc.).

2.2.2.2 Les échelles CR10 (Category Ratio 10 scale)

Certaines variables physiologiques telles que la lactacidémie n'évolue pas de façon linéaire au cours de l'effort mais adopte plutôt une fonction croissante de type exponentiel. L'intérêt de construire un autre type d'échelle d'évaluation subjective ayant un profil d'évolution comparable s'est alors concrétisé en 1973 (fig. 3). D'après Borg, ce type d'échelle permet également de faire des comparaisons interindividuelles, d'évaluer quantitativement la perception de l'effort et de la décrire mathématiquement.

Ainsi, l'effort perçu au cours d'un exercice à courte durée sur bicycle ergométrique satisfait à une fonction puissance suivante :

$$R = a + c.S^{n}$$ (*12, 15, 150*)

Avec R = intensité de la perception (Réponse) ;
a = intensité légère subjective de base ;
c = constante ;
S = intensité du stimulus imposé ;
n = 1,6.

L'accroissement de l'intensité subjective avec l'accroissement de la charge physique (watt) peut être représenté sous la forme d'une fonction positivement accélérée ou fonction puissance avec un exposant d'environ 1,6 (*12, 15, 150*).

La première ébauche de CR10 a été proposée par Borg en 1973 (*116*). Cette échelle comportait encore 21 niveaux avec seulement 7 niveaux d'annotations verbales (fig. 3). Cette échelle a évolué vers sa forme quasi-définitive en 1982 (*14*) puis en 1998 (*12*). Ces deux évolutions successives sont présentées dans la figure 4 pour les modifications apportées en 1982 et dans la figure 5 pour la dernière forme du CR10 apparue en 1998.

0 - Absolutely no feeling at all exertion
1 -
2 - Very light
3 -
4 -
5 -
6 - Somewhat hard
7 -
8 -
9 -
10 - Hard
11 -
12 -
13 -
14 - Very hard
15 -
16 -
17 -
18 - Very, very hard
19 -
20 - Maximal exertion

Figure 3. La première échelle de classement par catégorie CR20 de Borg (1973) (*116*)

0	Nothing at all	
0,5	Very, very weak	(just noticeable)
1	Very weak	
2	Weak	(light)
3	Moderate	
4	Somewhat strong	
5	Strong	(heavy)
6		
7	Very strong	
8		
9		
10	Very, very strong	(almost max)
•	Maximal	

Figure 4. Echelle de classement par catégorie de Borg ou CR10 (1982) (*14*)

En 1998 est apparue la forme actuelle de l'échelle CR10 (*12*) présentée dans la figure 5.

0	Nothing at all	**"No P"**
0,3		
0,5	**Extremely** weak	Just noticeable
1	Very weak	
1,5		
2	Weak	Light
2,5		
3	Moderate	
4		
5	Strong	Heavy
6		
7	Very strong	
8		
9		
10	**Extremely strong**	**"Max P"**
11		
•	**Absolute** maximum	**Highest possible**

Figure 5. Echelle CR10 dans sa forme actuelle (*12*). La lettre P est l'abréviation de "perception"

Les modifications entre l'échelle de 1982 et celle de 1998 sont présentées en gras dans la figure 5. Le niveau 10 est en gros caractère dans la forme originale de l'échelle (*12*).

2.2.3 Mode d'emploi des échelles de Borg

Dans le document cadre (*12*) qui présente les 2 échelles RPE et CR10, Borg présente une standardisation des informations à donner à la personne qui doit évaluer son astreinte. L'objectif de ces standardisations est de limiter les effets individus en donnant toujours les mêmes instructions aux sujets d'étude. En pratique de terrain, ces indications peuvent être adaptées. Mais pour l'étude d'un poste, d'une entreprise ou pour une étude de population, les instructions seront identiques tout au long de l'étude. Il est important de s'assurer que les sujets ont bien compris l'échelle. Quelle que soit sa forme, l'interrogation "des questions ?" doit clore la présentation de l'échelle. En effet, lorsque l'échelle est présentée la réponse

chiffrée qui traduit l'évaluation de la contrainte doit être rapide ; pratiquemennt spontanée. Ceci est facilement le cas en situation de laboratoire où les sujets ont eu le temps d'apprendre par cœur l'échelle. En situation de travail, l'expérimentateur devra être très attentif aux questions des salariés pour satisfaire cette condition de spontanéité. Une traduction pratiquement littérale de ces recommandations est présentée pour ces 2 échelles.

2.2.3.1 Mode d'emploi de l'échelle RPE

Traduction littérale des recommandations données au sujet :

Pendant l'exercice vous allez évaluer votre perception de l'effort grâce à cette échelle. Vous évaluez l'intensité de votre effort de combien lourd et éprouvant il est. Votre perception de l'effort dépend principalement du degré d'astreinte ressentie au niveau des muscles ou d'essoufflement voire de la gêne thoracique. Lisez cette échelle du début à la fin où la valeur numérique 6 signifie "pas d'effort du tout" et 20 "effort maximal" ressenti. Par exemple :

9 effort perçu très léger. Pour une personne en bonne santé, cela correspond à une marche lente à son rythme pendant plusieurs minutes.
13 effort perçu un peu dur mais le sujet se sent bien pour le poursuivre.
17 effort perçu très dur. Une personne en bonne santé peut encore le poursuivre mais elle doit alors repousser ses limites. La charge de travail est ressentie comme très lourde et le sujet est très fatigué.
19 effort perçu d'un niveau d'intensité extrêmement fatigant. Pour la plupart, c'est l'exercice le plus fatigant connu jusqu'à ce jour.

Essayez d'évaluer votre sensation d'effort en ignorant les données objectives sur les contraintes physiques réelles. Ne les surestimez pas, ne les sous-estimez pas.
C'est votre propre sensation d'effort qui est importante, elle ne doit pas être donnée en fonction de celle exprimée par d'autres personnes. Ne tenez pas compte de l'avis des autres. Regardez cette échelle et lisez les expressions verbales associées puis donnez un nombre correspondant.

Des questions ?

2.2.3.2 Mode d'emploi de l'échelle CR10 (1998)

Quelques exemples d'intensité d'effort sont proposés après la lecture des instructions (*12*). Les exemples proposés par Borg sont : un CR10 à 1 correspond à un effort perçu "très léger" tel qu'une marche à votre rythme pendant plusieurs minutes ; 3 correspond à un effort perçu pas spécialement dur; vous vous sentez bien et n'éprouvez aucun problème pour le poursuivre.

Un CR10 est à 5 lorsque vous êtes fatigué(e) mais que vous pouvez poursuivre l'effort sans aucune difficulté ; 7 correspond à un effort qui impose de puiser dans vos ressources. Vous vous sentez très fatigué(e). A 10 correspond un effort le plus dur perçu par la plupart des gens.

Le point noir • correspond à l'effort perçu "maximum absolu" ; chiffré il serait de 11 ou 12 ou plus.

Traduction littérale des recommandations données aux sujets

> Nous souhaitons que vous graduiez votre perception de l'effort, de combien il est lourd et fatigant. Votre perception de l'effort dépend principalement du degré d'astreinte et de fatigue ressenties au niveau musculaire ou d'essoufflement voire de gêne thoracique. Mais vous devez tenir compte de vos propres impressions subjectives et non de signaux physiologiques ou de l'actuelle contrainte physique.
> 10, "extrêmement fort - Max P" est la graduation majeure. C'est la plus forte perception (P) que vous n'ayez jamais ressentie. Il est possible cependant d'imaginer quelque chose de plus fort. Aussi, "maximum absolu" est placé plus bas de l'échelle sans en fixer de nombre défini et marqué par un point. Au cas où vous percevriez une intensité d'effort supérieure à 10, vous pourrez proposer un nombre plus grand.
> Commencer toujours par lire les expressions verbales puis ensuite choisir un nombre. Si l'effort perçu est "très faible" (ou "très léger"), dire 1 ; s'il est modéré, dire 3, et ainsi de suite. Vous pouvez bien sûr donner des valeurs intermédiaires telles que 1,5 ou 3,5, ou des décimales telles que 0,3 ou 0,8 ou 2,3.
> Il est très important que votre réponse corresponde bien à votre propre perception et non pas à celle que vous pensez devoir donner, et que vous soyez le plus fidèle possible à votre intensité d'effort perçu sans faire de sur et/ou de sous estimation.

2.2.3.3 Utilisation de l'échelle CR10 dans l'évaluation de la douleur

L'utilisation de CR10 comme échelle d'évaluation de la douleur n'est pas proposée dans ce travail. Le consensus d'évaluation de la douleur chronique publié récemment par l'ANAES (*4*) recommande l'utilisation de 3 types d'échelle pour évaluer l'intensité de la douleur : Echelle Visuelle Analogique (EVA), Echelle Numérique (de 0 à 100 ou de 0 à 10) et une Echelle Verbale Simple. Ce consensus rend obsolète l'utilisation des échelles de Borg, en conséquence les instructions aux sujets ne sont présentées qu'à titre indicatif.

Instructions de base données aux sujets :

> Quelles sont vos expériences de la douleur les plus mauvaises ?
> Si vous évaluez à 10 le plus fort effort perçu que vous ayez connu ou pensez avoir connu, quelle force d'intensité accorderiez-vous à vos 3 plus mauvaises expériences concernant la douleur ?
> 10 "extrêmement fort - Max P" est votre point de repère majeur. C'est votre plus mauvaise expérience sur la douleur connue, à laquelle vous accordez la note "Max P".
> Cependant ce "Max P" n'est peut-être pas le plus haut niveau atteint et que d'autres douleurs plus fortes sont possibles. Au cas où les douleurs ressenties seraient plus fortes, vous pouvez donner comme réponse 11 ou 12. Si c'est plus fort ; 1,5 fois "Max P", vous direz 15 !

Dans un souci de simplicité et de clarté du texte, l'échelle d'évaluation subjective de l'effort perçu (6-20) ou échelle RPE de Borg sera appelée le RPE et l'échelle CR10 de Borg sera appelée le CR10 dans les chapitres suivants.

2.2.4 Bibliométrie

Noble et Robertson (1996) ont dénombré 94 publications ayant pour sujet le RPE entre 1960 et 1993. De 1994 à 2002, nous avons déjà dénombré au moins 106 publications dans les revues scientifiques en majorité de langue anglaise sur ce sujet. La visite de Borg en 1967-1968 aux Etats-Unis, d'abord à l'université de Pittsburgh avec Bruce Noble puis à l'université de Pennsylvanie avec Skinner et Buskirk, coïncide avec le développement du nombre de publications dans les revues scientifiques anglo-saxonnes sur le RPE (*116*). Il faut également citer 2 ouvrages récents sur ce sujet: celui de Borg (1998) et celui de Noble et Robertson (1996). Ces derniers proposaient dans leur ouvrage (*116*), un modèle global pour expliquer la théorie de l'effort perçu. Cette théorie uniciste schématise un stimulus qu'est l'exercice qui agit sur l'organisme via des signaux autant physiologiques, psychologiques, environnementaux-performance que perceptifs, médiés ou non par des neuromédiateurs, ces derniers stimulant le cortex sensoriel. Ce dernier réagit par des réponses du domaine de la perception, soit différenciée (respiratoire-métabolique, local ou périphérique et non-spécifique), soit indifférenciée (sensation de la perception au niveau du "corps entier").

2.3 SUPPORT THEORIQUE

2.3.1 Méthodes subjectives

Le développement des connaissances théoriques sur l'effort perçu a progressé au travers d'une contribution interdisciplinaire impliquant des domaines variés tels que la physiologie, la psychologie, la médecine clinique et sportive (*128*).

Ces méthodes comportent 2 démarches l'une de quantification d'une grandeur (méthode subjective) et l'autre de choix d'une grandeur pour répondre à un critère subjectif (méthode psychophysique).

La méthode psychophysique est une méthode expérimentale dans laquelle tous les paramètres physiques de la contrainte, sauf un, sont fixes. Le paramètre non fixé est ajusté par le sujet afin qu'il perçoive une sensation définie. Dans le cas de la manutention, le paramètre physique laissé à l'appréciation subjective du sujet est soit le poids de la charge, soit la

fréquence de la manutention (*100*). Ces méthodes ont été très largement utilisées dans le domaine des limites de confort ou d'astreinte excessive pour les vibrations, la manutention manuelle, le confort thermique ou l'éclairement.

L'évaluation subjective a pour objectif d'obtenir de la part d'un individu une quantification d'un stimuli par une métrique donnée. Le choix de la métrique (échelle simple ou questionnaire long) est à la base de la méthode. De ce choix dépend la difficulté … et la richesse de l'évaluation. Il est important de constater que la motivation est en rapport direct avec l'évaluation des contraintes choisies librement et volontairement. A partir du moment où apparaît une contrainte non choisie, constituant une situation imposée, la motivation spontanée baisse et le travail est poursuivi pour des raisons autres que l'intérêt propre de la tâche. L'existence des contraintes imposées paraît caractériser en partie l'activité de travail par rapport à celle de loisirs. Elle est aussi l'une des causes des différences de démarche entre situation de travail et situation expérimentale pour évaluer une contrainte. La notion de "motivation" cache plusieurs facteurs parmi lesquels on évoque:

- l'acceptation de la situation de travail ;
- le libre choix de la tâche et du mode opératoire ;
- la satisfaction au travail ;
- l'origine socioculturelle et ethnique ;
- le niveau économique de vie ;
- les capacités physiques et intellectuelles.

La variabilité individuelle déjà évoquée à propos de la métrologie objective de l'astreinte physiologique est encore plus importante quand il s'agit de l'astreinte subjective. Une des principales raisons en est que le choix spontané et volontaire de la tâche ne dépend pas uniquement des aptitudes ou des capacités personnelles, ni de la personnalité, mais aussi des goûts individuels, qui se prêtent difficilement à une analyse objective.

Autrement dit, le choix de la tâche est imprévisible parce que les critères ont vraisemblablement une distribution statistique aléatoire. Pour essayer d'évaluer le niveau d'acceptation ou de non-acceptation du travail, il faut donc faire appel aux méthodes d'évaluation subjective de la charge de travail.

Les échelles de Borg ont été construites pour évaluer les jugements sur la charge physique (*109*). Une diminution de la capacité de travail n'est pas toujours perçue directement mais elle peut être estimée indirectement par l'augmentation de la perception d'un effort stable. Elles permettent également une évaluation subjective d'autres symptômes perçus tels

que la dyspnée ou la douleur et une utilisation ciblée dans des programmes variés d'entraînement sportif et de réadaptation fonctionnelle.

2.3.2 Dimensions évaluées par les échelles de Borg

Au cours de ses expériences de laboratoire sur les aspects sensoriels de charges physiques, 3 dimensions, locale, centrale et globale, ont été isolées par Borg (*12, 15, 167*). La perception est également régie par un double niveau de contrôle (la durée et l'intensité du travail attendue) et par des facteurs psychologiques tels que les traits et types de personnalité par exemple (73, *87*).

Meyer (*100*) évalue les dimensions "locale" et "centrale" de la perception de l'effort par l'échelle CR10 tandis que la dimension "globale" de l'effort perçu est évaluée par l'échelle RPE.

La réponse subjective va dépendre des mécanorécepteurs musculo-tendineux et articulaires pour la dimension locale de l'astreinte. La fréquence cardiaque et les paramètres ventilatoires seront les principaux déterminants de la dimension globale de la perception.

2.3.3 RPE et lactacidémie

D'autres variables peuvent intervenir comme des grandeurs biologiques. Ainsi, Edwards et coll. proposaient dès 1972 (*116*) une relation entre la lactacidémie en fonction du RPE applicable aux exercices continu ou intermittent :

$$\text{Lactacidémie (mmol/l)} = 0{,}64\text{xRPE} - 4{,}6 \qquad (r=0{,}83)$$

L'effet de la lactacidémie a fait par le suite l'objet de nombreuses recherches ; il s'agit de la constante biologique la plus étudiée en relation avec le RPE. Au cours d'un exercice physique sur ergocycle, le score RPE et la FC augmentent sous contrainte thermique tandis que l'évolution de la lactacidémie ne semble pas être influencée (*9*). Certains auteurs ont montré que la FC est un marqueur d'intensité d'exercice plus fiable que l'indice RPE lors d'un travail sous contrainte thermique (*124*). La valeur RPE correspondant au seuil anaérobique pour une population de jeunes adultes âgés de 21 à 37 ans, mesurée en laboratoire, lors d'un exercice physique de pédalage sur ergocycle est en moyenne de 13 pour les femmes et 14 pour les hommes (*125*).

Chez des sujets non entraînés, une corrélation forte est trouvée entre le RPE et la lactacidémie lors d'exercices physiques (ergocycle, tapis roulant) à intensité élevée (*77*). Lors d'un exercice

des membres supérieurs ou inférieurs sur ergocycle adapté (*18*), la combinaison des 2 variables objectives (FC et lactacidémie) paraît avoir une bonne valeur prédictive du score RPE attendu ainsi que de la perception de douleur au niveau des jambes (*19*). Pour certains auteurs (*110*), la corrélation entre l'indice RPE et la lactacidémie n'est pas transposable à tous les types d'exercice physique. Des conditions telles qu'une durée d'exercice d'au moins 3 minutes avec une VO_2 entre 50 et 85% de la VO_2 max paraissent nécessaires.

Une valeur de lactacidémie donnée ne reflète pas directement une intensité d'exercice physique correspondante mais plutôt un niveau de capacité d'endurance. Ainsi, à une lactacidémie de 4 mmol/l correspond un RPE de16 et une vitesse de course sur tapis roulant de 5,4m/sec pour une population de jeunes adultes entraînés. Par contre, le RPE est de 12 et la vitesse de 2,9m/sec pour une population d'adultes jeunes sédentaires (*75*). A vitesse et RPE équivalentes, on observerait chez ces derniers une lactacidémie de 2 à 3 mmol/l de plus. Enfin, la liaison entre le RPE et la lactacidémie et le RPE et la FC est altérée lors de la prise par les sujets d'agents inhibiteurs (atropine, propranolol) (*49*).

2.3.4 RPE et glycémie

La régulation de la glycémie interfère avec l'évaluation subjective selon un processus encore peu connu et discuté.

- Psychologie et diabète

Au cours d'un exercice sur ergocycle à 60 % de la VO_2 max, le score RPE obtenu chez des adolescents porteurs d'un diabète insulino-dépendant est de 2 à 3 points au dessus de celui obtenu pour une population de référence, avec ou sans apport d'eau, ni de glucides (*126*).

- Réserves glucidiques et effort perçu

Les possibilités de captation du glucose interagissent sur l'intensité de l'effort perçu évalué au niveau des membres actifs lors d'un exercice prolongé exhaustif des bras à 60% de la VO_2 max (*130*). La capacité d'endurance pourrait être en partie limitée par l'importance de l'intensité de l'effort perçu secondaire à une baisse des réserves glucidiques et notamment du taux du glycogène musculaire. Donc une baisse des réserves de glucide entraîne une augmentation du RPE et une baisse de la capacité d'endurance. Au cours d'un exercice prolongé des bras sur ergocycle adapté, la diminution de la captation du glucose et la déplétion des réserves musculaires du glycogène peuvent être une cause d'élévation du RPE. Lors d'un exercice sur ergocycle à 75% de la VO_2 max, l'apport glucidique diminue le score RPE versus placebo. On constate également une élévation de la glycémie et de l'insuline

plasmatique versus une baisse de la cortisolémie et des taux plasmatiques de l'hormone de croissance. Cette étude (*162*) conforterait l'idée du lien physiologique entre le score RPE et les glucides et leur régulation hormonale mise en jeu lors de l'exercice physique.

Cependant, pour d'autres auteurs (*57*), il n'y a pas de corrélation entre l'indice RPE et la glycémie durant un exercice sub-maximal sur ergocycle à 80% de la VO_2 max. Cet indice ne dépend pas non plus de la valeur de l'index glycémique de l'aliment pris avant l'épreuve. La glycémie ne semble alors pas être une variable physiologique interagissant avec le RPE au cours d'un exercice physique sub-maximal.

2.4 APPLICATIONS DE L'EVALUATION SUBJECTIVE

2.4.1 Intensité d'effort

2.4.1.1 Travail général

L'activité musculaire (*108*) constitue la cause la plus importante de variation de la dépense énergétique. Le surcroît d'énergie dépensée en sus du niveau de repos représente le coût énergétique du travail mécanique fourni. Celui-ci peut être faible, moins de 70 W pour l'activité posturale, ou au contraire très élevé, jusqu'à environ 2 kW comme c'est le cas chez les sportifs de haut niveau réalisant une performance à vitesse maximale. Au cours de l'exercice musculaire de type général, tel que la marche, la course, le pédalage sur bicyclette ou encore un travail à la manivelle, le coût énergétique augmente de façon linéaire avec la puissance, tout au moins jusqu'à des intensités d'exercice correspondant à 50 % environ de la puissance maximale.

- La marche

Le coût énergétique de la marche à faible vitesse (1,8 km/h) est relativement élevé. Il est minimal entre 3,6 et 5 km/h et dépasse le coût énergétique de la course à partir de 8 km/h (*7, 108*).

Ce coût est extrêmement variable, non seulement d'un individu à l'autre mais aussi pour chaque individu, en fonction des circonstances. Il dépend du poids total de l'individu (y compris celui de ses vêtements), de la vitesse de la marche, de la nature du terrain, de la pente et du fait que le sujet présente ou non une claudication (*7*).

C'est la fréquence du pas librement choisie qui réclame la plus faible consommation d'O_2 pour une vitesse donnée. Si on oblige le sujet à choisir n'importe quelle autre fréquence pour la même vitesse, le coût en O_2 sera supérieur à celui nécessaire pour maintenir cette vitesse à la fréquence propre choisie par le sujet. C'est pourquoi à une certaine intensité d'exercice comparable, la marche est alors perçue (RPE) comme plus contraignante que la course à pied pour des sujets entraînés (*10*). A la vitesse de 4 km/h, la dépense énergétique est doublée pour une pente de 10 %, triplée pour une pente de 20 % et quadruplée pour une pente de 24 % ce qui, dans ce dernier cas, représenterait environ 12 W/kg (*108*). L'utilisation d'une canne de promenade lors de l'ascension d'une pente de 40 degrés sur une distance de 50 mètres diminue donc significativement le coût objectif (FC) et subjectif (RPE) (*81*).

- La course

Le coût énergétique d'une course est une fonction linéaire de la vitesse tant que celle-ci ne dépasse pas 20 km/h. Autrement dit, le coût net du mètre parcouru par unité de poids corporel est une constante indépendante de la vitesse. Pour une vitesse modérée donnée, la dépense énergétique est de 5 à 7 % plus élevée chez l'individu non entraîné que chez l'athlète ; elle est plus grande chez l'enfant que chez l'adulte sans qu'il soit possible de préciser la part d'une mauvaise technique ou celle d'une différence de dimensions ; elle augmente enfin avec la pente. L'énergie dépensée lors d'une course est fortement influencée par la résistance offerte par l'air à l'avancement du coureur. Lorsqu'il doit lutter contre le vent, celui-ci peut entraîner une dépense supplémentaire de 28 % pour un vent de 10 m/sec. et 64 % pour un vent de 14 m/sec. (*108*). De plus, l'exercice physique contre la résistance de l'eau entraîne un coût énergétique, cardiaque et subjectif supérieur à celle de l'air. Ainsi chez une population de jeunes adultes en bonne santé, le RPE est plus élevé (24 à 42%) pendant une épreuve de course dans l'eau (immersion jusqu'à l'épaule ; température de l'eau : 29,6°C ; de l'air : 24,7°C; du laboratoire : 21,7°C) que pendant une course sur tapis roulant pratiquée à la même vitesse pour chaque palier de difficulté progressive (72 à 144 pas par minute). La FC de crête et la VO_2 suivent la même évolution et sont plus élevées pour les hommes dans l'eau (*21*).

- Ski de fond

Lors du déplacement à ski, la dépense est influencée par des facteurs tels que l'état de la neige, les propriétés glissantes du ski, la technique du sujet, la vitesse du vent ou encore la

pente du terrain. Le coût de déplacement à ski dépend aussi du style adopté : ainsi le pas de patineur s'avère plus économique (*108*).

Le ski mettant en jeu un plus grand nombre de groupes musculaires que la marche (du fait de l'utilisation des bras pour tirer et pour pousser sur les bâtons), l'énergie dépensée pour se déplacer d'un point à un autre peut être aussi élevé (*7*). On a également constaté dans un autre sport de glisse, le skate-board, que le coût subjectif (RPE) augmente avec la vitesse de glisse du skate sur une pente de 5,2 % et pour certaines techniques de glisse utilisée (*79*).

Astrand et Rodahl (1994) citant Agnevik et coll. (1969) qui ont montré chez les meilleurs spécialistes suédois de ski alpin que la compétition représentait une contrainte psychique, celle-ci contribuait à une augmentation de la FC. Le même parcours pratiqué dans le même temps que lors de l'épreuve officielle de la veille mais effectué à l'entraînement entraîne un coût cardiaque et une consommation d'O_2 moindre. D'autres contraintes mentales telle qu'un stimulus visuel peut augmenter le RPE lors d'un exercice sur ergocycle (*169*), phénomène non observé lors d'un stimulus sonore au cours de la même expérience. La musique semble être un bon "anti-stress". Ainsi, la diffusion de la musique classique détend les sujets au cours d'un exercice physique de course sur tapis roulant à 70% de la VO_2 max La diminution significative des variables objectives telles que la lactacidémie et les astreintes cardio-vasculaires (PA, FC) et subjectives (RPE) au cours de cette épreuve versus la même séance sans musique pourrait être expliquée par l'hypothèse bien connue des propriétés relaxantes de certains types de musique. Ainsi, une musique calme et apaisante pourrait diminuer la tension musculaire et entraîner donc une augmentation du flux sanguin et de la clairance de l'acide lactique. La conséquence serait la baisse locale du taux de l'acide lactique au niveau des muscles actifs. Il ne faut bien sûr pas omettre l'impact psychologique relaxant potentiel de la musicothérapie (*154*). La musique diminue également le score RPE en jouant un rôle distrayant passif durant un exercice musculaire sur ergocycle notamment (*122*).

- Le cyclisme

Le coût énergétique du cyclisme n'est que de 1/5 de celui de la marche alors que la vitesse peut être 5 fois plus grande (*7*). La dépense énergétique à une vitesse donnée dépend de plusieurs paramètres. La force nécessaire pour faire avancer une bicyclette est égale à la somme des résistances par frottement au niveau de la machine, de la résistance de l'air et, en plus ou en moins, de la force exercée par le vent (*108*). La résistance de l'air est responsable de la nette augmentation du coût total avec la vitesse et permet de comprendre la recherche

d'une silhouette aérodynamique ou d'un abri dans le sillage d'un autre coureur. La dépense d'énergie dépend également de la vitesse de rotation du pédalier dont l'optimum se situe entre 40 et 50 tours par minute. Le RPE augmente lors d'un exercice de pédalage en montée à charge constante et peut ainsi induire une activation de la région cérébrale insulaire thalamique et donc une élévation des astreintes cardiovasculaires (FC et PA) (*171*). L'entraînement ne diminue pas le RPE lorsque l'exercice est effectué au seuil ventilatoire aérobique, seuil où on observe des astreintes cardiovasculaires et métaboliques élevés (*78*). On a également constaté une élévation du RPE lors de son évaluation en continu pendant plusieurs jours de suite chez des athlètes masculins sans noter d'augmentation parallèle de la FC (*89*). L'entraînement spécialisé (*72*) des athlètes de haut niveau modifiait les réponses physiologique (lactacidémie) et subjective lors des épreuves sur ergocycle et de course sur un tapis roulant. Ainsi, le groupe des cyclistes professionnels présentait la lactacidémie la plus basse versus le groupe des marathoniens et les 2 groupes témoins (actif et sédentaire). Lorsque le groupe des marathoniens estimaient leur RPE à 15, on constatait une FC à 130 bpm sur ergocycle versus une FC à 170 bpm quand l'exercice correspondait à une course sur tapis roulant. Pour le groupe des cyclistes, avec un RPE à 15, FC est à 150 bpm pour les 2 exercices. Le coût subjectif peut être atténué lorsque l'épreuve physique est accompagnée d'une phase de moindre contrainte physique en fin d'épreuve, une sorte de palier de décélération (*20*).

Les échelles de Borg utilisées pour différentes pratiques sportives (marche, jogging, vélo, step-test) chez des femmes sédentaires retrouvaient également une corrélation entre le RPE et la FC (*145*). Divers métiers ont été aussi étudiés tels que les professions de policiers (*5*) et de charpentiers/menuissiers (*36*) par le RPE et celles de forestiers (*69*) et d'ouvrières laitières (*144*) par le CR10.

- Le monde du travail

Le monde du travail génère encore beaucoup de situation nécessitant une manutention manuelle de charge. Celle-ci se prête de façon assez simple à une modélisation de son coût physiologique objectif (FC, VO_2) ou subjectif (RPE) (*99*). Meyer (*100*) rappelait l'intérêt des méthodes alternatives au recueil de la FC telles que les méthodes biomécaniques, subjectives (RPE) et psychophysiques pour analyser la contrainte physique de situations de travail comportant des tâches de manutention manuelle. Des stratégies pour diminuer les contraintes biomécaniques au niveau lombaire et scapulaire notamment existent déjà telles que pousser

ou tirer une charge lourde plutôt que la soulever pour la porter sur une distance donnée (*137*). Au cours d'un exercice musculaire statique général (après soulèvement et maintien d'une charge par les membres supérieurs en position debout), le RPE ne varie pas lorsque le pourcentage de force musculaire maximale volontaire mis en jeu est de 25, 30 ou 35% tandis que l'on observe une élévation de la FC et de la lactacidémie. Cette observation faite chez une population de jeunes hommes adultes en bonne santé semble traduire une réaction vasopressive réflexe périphérique peu influencée par d'éventuels facteurs psychologiques dans cet exemple (*134*). Les sujets (*104*) choisissaient un niveau de coût subjectif 7,5% inférieur à celui qu'ils auraient pris au cours de méthodes psychophysiques pour déterminer les valeurs maximales supportables de manutention manuelle de charge (MMC) en faisant varier les paramètres suivants (fréquence de manutention, le poids à soulever et la taille de l'objet à manutentionner). Prescrire un RPE donné lors de programmes de réadaptation pourrait entraîner dans ces conditions peu de risque de dépasser le niveau d'intensité maximale tolérable. De même, le coût métabolique (*131*) de la MMC est négligeable chez les sujets femmes lorsque la charge ne dépasse pas 15 % de leur poids. Utilisé pour évaluer le RPE tant au niveau local (jambe) et cardiorespiratoire (souffle) que général (corps entier), celui-ci varie positivement le plus avec la vitesse de transport des charges.

L'évaluation des risques d'une combinaison des tâches manuelles élémentaires ne peut pas être réalisée à partir de la sommation des estimations des mesures des astreintes physiologique (FC) et subjective (indice d'inconfort et/ou d'effort perçu) relevées pour chacune des tâches élémentaires s'y rapportant (*152*). Il n'y a pas de différence d'évaluation subjective (RPE) entre les hommes et les femmes lorsque les comparaisons sont contrôlées au cours d'exercices d'une intensité comprise entre 70 et 90 % de la FC de crête ou de la VO_2 maximale (VO_2 max) (*129*). Une corrélation a été trouvée entre la FC enregistrée et la FC déduite à partir du RPE au cours de la simulation de 2 tâches de travail (manutention de boîte et balayage du sol) (*96*). Enfin, la sémantique est importante et l'application des échelles de Borg peut être problématique lorsque son utilisation est prévue dans une société multi-ethnique et pluriculturelle. Une parade sera de mettre des annotations d'exemples de tâches quotidiennes connues de tous à côté des scores numériques (*138*).

2.4.1.2 Travail local

Un exercice est considéré comme local ou régional lorsque la masse des muscles impliqués est respectivement inférieure au 1/3 de la masse musculaire totale ou est entre 1/3 et 2/3 de

cette masse (*7*, *108*). Les réactions d'adaptation ventilatoire et circulatoire lors d'un travail local, dépendent du fait que l'exercice entrepris conduit ou non à l'épuisement musculaire local en un temps relativement bref (quelques dizaines de minutes au maximum).

- Exercice local non épuisant

Lorsque la force ou la puissance de l'exercice (*108*), ou encore la fréquence des mouvements, ne sont pas trop élevés par rapport aux capacités maximales des muscles actifs, la ventilation pulmonaire et la FC (témoin du débit cardiaque) présentent un état constant, après une très courte période transitoire. Le niveau atteint est proportionnel à la puissance de l'exercice, l'augmentation du débit sanguin dans les muscles assurant les besoins du muscle en O_2.

- Exercice local rapidement épuisant

La mise en jeu d'une force importante (*108*) et/ou d'une fréquence de mouvements élevée (travail dynamique), ou seulement d'une force dépassant le niveau de la force critique des muscles actifs (travail statique), implique la survenue rapide d'un épuisement local. Celle-ci est accompagnée par des modifications ventilatoires et circulatoires qui s'expliquent par des considérations mécaniques : blocage thoracique et blocage de la circulation dans le muscle.

Lors d'un travail statique, l'ischémie est responsable d'une tachycardie dont l'effet principal est d'élever la pression artérielle, réduisant ainsi la différence entre la pression d'occlusion complète des vaisseaux musculaires et la pression atteinte dans les artères. FC et pression artérielle (PA) évoluent parallèlement, l'élévation de la première expliquant en grande partie la montée de la seconde.

Même si le facteur prédominant est le pourcentage de la force maximale volontaire isométrique (FMVi) du muscle actif mis en jeu, la masse musculaire influence quand même la commande centrale au cours d'un exercice statique. Ainsi, les astreintes cardiovasculaires (FC et PA) et subjective (RPE) augmentent plus fortement lors d'un exercice statique du muscle quadriceps versus celui de l'avant-bras (*52*).

Au cours d'une contraction isométrique du muscle quadriceps à 80% de sa FMV, une augmentation linéaire de l'activation neuromusculaire et de la perception de l'effort est observée. Cette linéarité pourrait faire défaut en cas d'altération de l'unité motrice ou lors de la diminution de l'excitabilité de la membrane de la fibre musculaire (*121*).

Le RPE local est supérieur au RPE central au cours d'exercices des bras ou jambes sur ergocycle. Le RPE est d'ailleurs bien corrélé à l'intensité de l'exercice des petits muscles tels que ceux des membres supérieurs. L'exercice des bras entraîne des astreintes physiologiques

(lactacidémie, ventilation, FC) et subjectives (RPE) plus élevées que celui des membres inférieurs (*3, 109, 118*).

L'utilisation des astreintes subjectives (RPE) et objectives (FC) permet de proposer un poids optimal acceptable (H : 9,9 kg ; F : 7,1 kg) à manutentionner à une main sur des distances variées (30, 60 et 90 m) et des intensités d'exercice souhaitables (RPE=12, FC=100 batt./min.) (*106*). Après une activité physique de type soulèvement de poids de 22 kg, 6 fois par minute, par des jeunes manœuvres, la phase de récupération métabolique nécessite environ 10 minutes, tandis que la récupération évaluée par des indices subjectifs (RPE) se poursuit au delà de 20 minutes (*88*).

Les causes de variation du RPE sont multifactorielles. Ainsi il augmente après une séance de répétition du violoniste alors que l'EMG enregistré avant et après cette séance de répétition ne retrouve pas de signes en faveur d'une fatigue musculaire (*27*).

2.4.2 Fatigue-endurance

2.4.2.1 Fatigue

La *fatigue générale* (*108*) intéresse un exercice impliquant la mise en jeu d'un grand nombre de muscles. Son siège peut être musculaire, mais il implique le plus souvent toutes les grandes fonctions qui sous-tendent l'adaptation à l'exercice : respiration, circulation, thermorégulation, nutrition, etc. Christensen en 1960 définissait la fatigue physique généralisée comme une perturbation de l'homéostasie due au travail et à l'environnement dans lequel il est pratiqué (*7*). Elle se traduit par des symptômes aussi bien subjectifs qu'objectifs. La même année, Scherrer et Monod (1960) décrivaient la fatigue musculaire comme "une baisse transitoire de la capacité de travail du muscle, consécutive à l'activité musculaire, survenant pour un niveau constant d'incitation des centres moteurs et réversibles par le repos" (*108*).

Les *symptômes subjectifs de la fatigue* peuvent aller de la légère impression de lassitude à l'épuisement complet. On a souvent tenté d'établir une relation entre ces symptômes subjectifs et des critères physiologiques tels que l'augmentation de la lactacidémie. En fait, si cette relation est assez claire pour des exercices physiques intenses, elle l'est beaucoup moins pour des exercices prolongés d'intensité faible ou modérée. L'impression subjective de fatigue se manifeste à la fin d'une journée de travail de 8 heures, assez souvent lorsque la valeur

moyenne de la dépense énergétique dépasse 30 à 40 % de la puissance maximale aérobie, et systématiquement lorsqu'elle est supérieure à 50 % de cette puissance maximale aérobie.

Les *signes objectifs de la fatigue* (*108*) sont ceux perçus par un observateur impartial et fait l'objet d'enregistrements. Au niveau tissulaire et biologique, on constate un épuisement du glycogène musculaire (facteur limitant de l'exercice) et une augmentation de l'ammoniémie.
Si l'on compare l'exercice général et le travail local, il faut donc admettre que la capacité de travail général est bridée par une insuffisance d'apport en oxygène, tandis que la capacité de travail local l'est par l'insuffisance du débit sanguin dans les muscles.
Ces 2 mécanismes aboutissent en fin de compte à une baisse du pH intracellulaire.

La fatigue (*7)* est un phénomène complexe. En particulier du fait que s'ajoute aux critères physiologique de la fatigue des facteurs psychologiques. Les charges mentales et physiques à l'origine d'une fatigue perçue comportent également des aspects qualitatifs et quantitatifs (*2*). Il arrive que la fatigue survienne sans que l'on se soit livré à un exercice quelconque. Un exercice à une puissance donnée peut être perçu comme plus dur aujourd'hui qu'hier. L'exercice sollicite non seulement le système neuromusculaire mais aussi les systèmes circulatoire et respiratoire. La fatigue musculaire locale est définie par Edwards (*7*) comme étant "une impossibilité à maintenir une puissance requise". La fatigue musculaire peut comprendre un élément psychologique ou mental très important. Ainsi à la fin d'un marathon olympique, le perdant va perdre connaissance alors que le gagnant, probablement aussi fatigué, trouve encore la force de courir un tour supplémentaire. Dans des exercices isométriques répétés, l'association force et fréquence des répétitions détermine la durée pendant laquelle l'exercice peut être supporté. Pour un rythme de 10 contractions rapides par minute, environ 80 % de la FMVi est développée sans inconvénient. A 30 contractions par minute, cette charge est réduite à 60 % du maximum (*7*). Ces valeurs ne semblent pas dépendre du groupe musculaire mis en jeu. La capacité de travail paraît atteindre son niveau optimal lorsque la durée du travail est égale à la moitié de la durée du repos (*7*).
L'aptitude des fibres musculaires à maintenir une tension mécanique élevée et l'impression subjective de fatigue sont grandement influencées par l'irrigation sanguine du muscle. Au début de l'exercice, l'augmentation de la demande d'irrigation sanguine précède celle de l'apport sanguin. Lorsque l'exercice consiste en de courtes phases de contraction isométrique, la source d'énergie peut être constituée par les réserves d'ATP, la phosphocréatine, ainsi que par les processus aérobies, que rend possible la présence d'O_2 dans le muscle (au niveau

duquel il se trouve fixé sur la myoglobine). Une contraction maximale ne peut cependant pas être soutenue plus de quelques secondes. Au cours des contractions isométriques, lorsque la tension ne dépasse pas 15 % de sa valeur maximale, ou si, lorsqu'elle est plus élevée, l'exercice est entrecoupé de pauses de durée appropriée, le débit sanguin peut être suffisant pour assurer l'apport d'O_2 et de composés riches en énergie, ainsi que pour éliminer les métabolites formés (*7*). Le travail peut donc se poursuivre dans des conditions aérobies pendant de longues périodes. Lorsque la charge est plus élevée, la circulation est gênée par l'obstruction plus ou moins complète des vaisseaux sanguins. L'apport d'O_2 va donc être inférieur à la demande et les processus anaérobies vont contribuer pour une large part à l'apport énergétique. Cette restriction de la circulation sanguine réduit non seulement l'apport d'O_2, mais également l'élimination des métabolites et de la chaleur. Aux tensions de l'ordre de 50 % de la FMVi (qui peuvent être soutenues pendant une minute environ), l'accumulation d'acide lactique et/ou de H+ peut perturber le fonctionnement des éléments contractiles (*7*).

Chez les sportifs de haut niveau (*108*), parfois la récupération devient incomplète et les signes de fatigue s'accumulent. C'est le surentraînement, résultat d'une activité sportive menée à un rythme trop soutenu, trop souvent et trop longtemps. Ce syndrome se caractérise par une diminution des performances motrices et un cortège de signes discrets, sub-cliniques, d'intensité variable. Deux niveaux peuvent être distingués dans le syndrome de surentraînement (*108*) :

-une *fatigue passagère* ou fatigue à court terme, marquée par une récupération incomplète, une fatigue journalière (objective et subjective) croissante, une diminution de la capacité de travail. En témoignent une FC plus élevée au repos (de quelques pulsations par minute le matin au réveil) mais aussi à l'exercice, une récupération plus lente, un rendement énergétique moins bon, des signes d'adaptation cardio-respiratoires plus marqués, une modification de la qualité de sommeil. Après réduction du programme d'activité, le retour à un état normal survient dans un délai de 1 à 2 semaines ;

-une *fatigue chronique*, observée lorsque la fatigue passagère n'a pas été détectée et dont les auteurs allemands (*108*) ont contribué à isoler 2 formes, correspondant à un déséquilibre neurovégétatif, à prédominance sympathique ou parasympathique. Dans ces 2 cas, la durée du retour à la normale est de l'ordre de plusieurs mois.

Le tableau de surentraînement n'est pas spécifique au domaine sportif : il peut en effet être observé en rapport avec une surcharge de travail en milieu professionnel.

Le RPE enregistré au cours d'une contraction musculaire isométrique (muscle vaste latéral) est un bon indicateur pour évaluer le niveau de fatigue au cours d'exercices physiques d'endurance prolongée (*74*). Il peut également être utilisé comme un indicateur pour évaluer la fatigue perçue lors des phases d'activité comportant la MMC de façon répétitive (*105*), à fréquence élevée (*51*) et en première intention en milieu industriel (*6*). Il permet aussi d'estimer la fréquence optimale de MMC par une seule main. Pour un poids moyen de 4,5 kg cette fréquence est de 10 à 28 soulèvements par minute, pour une population de jeunes adultes en bonne santé (*103*). De même, le RPE permet de déterminer la fréquence maximale de MMC à préconiser pour les femmes actives au cours d'une journée de 8 heures de travail quotidien (*62*). Ainsi, lors d'un exercice de soulèvement de poids (1 à 3 Kg) par les membres supérieurs, une VO_2 plus faible est trouvée quand la fréquence de soulèvement est de 6 fois par minute pour le poids le plus lourd (3Kg) que pour une fréquence de soulèvement de 12 à 18 fois par minute avec un poids plus léger (1 ou 2 Kg) (*173*). La lactacidémie mesurée semble parallèlement suggérer que la fréquence de soulèvement dans certaines conditions de travail particulières est un bon compromis pour une valeur de 12 fois par minute (*173*).

L'utilisation du CR10 pour estimer la fatigue musculaire au cours du mouvement d'extension du dos est moins pertinente que l'enregistrement de l'EMG, une variable objective de référence (*47*). Cependant, une corrélation très significative lie le CR10, l'EMG et le temps d'endurance lors de l'évaluation subjective et objective de la fatigue musculaire lombaire au cours d'un exercice physique exhaustif mobilisant les muscles extenseurs du dos (test modifié de Sorensen) (*33, 34*).

Lorsque le muscle testé est fatigué, l'évaluation subjective de sa contraction par le RPE sous-estime la valeur réelle de celle-ci d'environ 17% (*35*). En milieu professionnel, l'application d'une force moins importante que nécessaire à cause d'un état de fatigue lors d'une action de tenue, de portée ou de poussée d'un objet pourrait alors être source potentielle d'accident (*35, 90*). La perception de l'effort est moins importante pour les exercices musculaires excentriques versus concentriques à même niveau d'intensité. On suggère que l'épuisement durant diverses formes d'exercices et conditions diverses est perçu ou défini à partir de combinaisons d'informations multiples obtenues à partir de signaux afférents et efférents (*76*).

2.4.2.2 Endurance

L'estimation de la capacité d'endurance grâce au RPE est possible au cours d'un exercice physique de marche sur tapis roulant avec ou sans dénivellation, avec ou sans port de charge,

et à des vitesses de marche différentes (*166*). Les données disponibles (*7*) indiquent que la VO_2 max est d'une importance décisive dans un exercice exténuant de 5 à 30 minutes. Dans des activités nécessitant des besoins d'énergie moins importants, la puissance maximale aérobie est moins déterminante pour la performance. Les facteurs périphériques seront plus importants comme l'a montré l'utilisation du RPE pour recueillir des indices d'effort locaux perçus au niveau des muscles des membres inférieurs lors d'exercices d'endurance sous-maximale exhaustive de pédalage ou d'extension du muscle quadriceps. Les résultats ont montré que le RPE est corrélé à la capacité d'endurance aérobie et que la puissance aérobie mobilisable lors d'un exercice musculaire général dépend d'abord des possibilités musculaires locales (*59*).

Quand les besoins énergétiques dépassent approximativement 70 % de la puissance maximale aérobie, l'accroissement du métabolisme des acides gras libres dû à l'entraînement semble être important car les réserves en glycogène sont conservées plus longtemps (*7*).

Un des effets de l'entraînement par intervalle-training est que l'individu entraîné peut travailler à un plus fort pourcentage de sa VO_2 max La raison n'en est pas évidente. Un apport plus efficace d'O_2 aux muscles qui travaillent serait dû à l'agrandissement du lit vasculaire, à l'augmentation de la diffusion, à une capacité enzymatique plus élevée d'utiliser les acides gras libres comme substrats, à une augmentation de la teneur en glycogène et à un seuil de fatigue psychologique plus élevé (*7*). Une consommation d'O_2 plus élevé peut être maintenue sans accumulation des lactates dans le muscle, le sang et d'autres tissus. Avec l'entraînement, les sujets sont plus habitués à l'exercice et plus enclins à aller à leurs limites. Il est important de se rappeler que la réalisation d'épreuves d'endurance peut être améliorée au-delà des modifications observées de la puissance maximale aérobie. Au cours d'un exercice sur ergocycle pour des pourcentages variés de la VO_2 max (40, 50, 60, 70 et 80%), les sujets en grande condition physique (VO_2 max>56 ml/kg/min.) ont un RPE inférieur à celui de sujets moins entraînés (VO_2 max<46 ml/kg/min.) (*158*).

A un même score de CR10 et donc même effort similaire produit, les hommes semblent avoir un niveau d'endurance plus faible que les femmes pour les muscles trapèze, deltoïde et sous-épineux malgré le fait que la force maximale volontaire (FMV) des femmes est en moyenne de 60% de celle des hommes (*46*).

Enfin, parmi les facteurs qui influencent l'endurance, les états et traits psychologiques, les réponses physiologiques, le genre et les conditions environnementales interagissent d'une manière complexe pour influencer la perception de l'effort (*111*).

Les personnalités de type A* obtiennent des valeurs de performance comparable lors d'exercice physique sur ergocycle ainsi que pour le RPE (*38*) alors que d'autres auteurs (*73*) pensent que ce type de personnalité pourrait sous-estimer l'intensité de la perception de leur effort.

Dans le domaine de la perception où l'aspect psychologique est important, certains auteurs (*115, 132*) n'ont pas trouvé de différence de score RPE dans une population de patients douloureux chroniques par rapport à un groupe témoin, ni d'effets des stratégies psychologiques associative ou dissociative sur la FC et le RPE.

Il est donc toujours important de relativiser les résultats des évaluations subjectives de l'effort perçu en tenant compte notamment de la population explorée (sportifs et/ou salariés; état de santé, âge, catégorie socioprofessionnelle et degré de motivation par exemple).

2.4.3 Choix d'un niveau d'effort

Dans une revue de la littérature, Robertson (*128*) synthétise les possibilités d'applications pratiques des échelles de Borg tant dans le domaine de la santé qu'en milieu sportif.

- Le RPE lors d'exercice sur ergocycle à des puissances croissantes permet une utilisation :

- en milieu de réadaptation cardiorespiratoire, notamment chez des patients sous médication à visée cardiologique où les astreintes cardiovasculaires (FC et PA) deviennent moins performantes pour évaluer la tolérance à l'effort à l'inverse du RPE moins dépendant de ce type de médication ;

- dans les programmes d'entraînement en aérobie grâce à la relation forte (r=0,86) entre l'intensité de l'effort réalisé à un RPE de 15 et la VO_2 max ;

- pour définir des exercices en anaérobie : le RPE déterminé au cours d'un exercice sous-maximal exhaustif sur ergocycle de durée très courte (30 s) fournit une bonne valeur prédictive de la puissance au seuil anaérobie ;

- lors d'un exercice des bras sur ergocycle adapté à 60 % de la VO_2 max, certains résultats montreraient une relation inversement proportionnelle entre le RPE-bras et la glycémie et le temps limite (temps disponible avant épuisement pour une intensité d'exercice donnée) ;

(*) Le comportement de type A a été décrit par Friedman et Rosenman en 1959 dans le cadre des risques de maladies cardio-vasculaires. Les sujets avec un comportement de type A expriment une forte ambition, de la compétitivité et de l'impatience. Ils sont souvent préoccupés par les délais, avec un sens chronique de l'urgence du temps et sont fortement motivés à maintenir un contrôle total sur leur environnement. Le comportement de type B se définit par l'absence des caractéristiques au type A : les individus de type B sont plus tranquilles, plus insouciants et moins compétitifs.

- permet une analyse discriminante de la capacité fonctionnelle en clinique : évaluer le degré de sévérité de l'atteinte de la santé d'un patient à un instant donné et apprécier ses progrès après soins comportant des programmes d'exercice physique, la diététique et les médications. Cette analyse se fait sur ergocycle à puissance croissante, sous surveillance médicale, et apprécie la déviation des réponses du RPE en comparaison à une population active de référence en bonne santé et en bonne condition physique. Le RPE peut alors être proposé comme un outil diagnostique en complément des moyens d'exploration classique pour suivre des patients atteints de coronaropathie, de broncho-pneumopathie chronique obstructive, de certains troubles psychiatriques, de pathologies neuromusculaires et de patients présentant des facteurs de risques de l'athérosclérose ;
- suivi des programmes d'exercices physiques d'endurance de réadaptation fonctionnelle et de remise en forme.

- Prescrire des exercices physiques à une intensité d'effort perçu donnée.

Des programmes d'exercices prescrits individuellement utilisent souvent l'effort perçu pour définir les zones d'entraînement cardiorespiratoire prédéfinie et régler l'intensité d'exercice correspondante, exercice de santé (RPE < 13) ou de capacités cardio-respiratoires (RPE > 17) (*41*, *44*, *86*, *116*, *119*, *139*, *146*). A 70 % de la VO_2 max, le RPE (corps entier) est le même lors d'exercices sur tapis roulant et ceux de pédalage sur ergocycle et de soulèvement de poids par les bras sur un banc d'essai (*116*).

- La prescription des intensités d'exercice basées sur la perception utilise le paradigme.

estimation-production plutôt dans les programmes de réadaptation fonctionnelle cardiovasculaire et locomotrice et le paradigme production seul pour les sujets en bonne santé dans le cadre des programmes de remise et/ou de maintien de l'état de forme physique;
- RPE-estimation et production. Le RPE-estimation est la valeur du RPE au cours d'un exercice de difficulté croissante, avec une dépense énergétique équivalente entre 70 et 85 % de la VO_2 max. Ensuite, le sujet produit un exercice à une intensité fonction d'une valeur RPE prédéfinie ou RPE cible.
- RPE-production seul est préconisé chez des sujets n'ayant pas à priori de contre-indication médicale à faire de l'exercice physique. Le sujet identifie une intensité d'exercice souhaitée puis lie cette intensité à sa valeur de RPE.

• Détermination du seuil anaérobie.

Robertson (2001) cite de nombreux auteurs qui avaient trouvé que le seuil anaérobie chez des sujets adultes (homme et femme) en bonne santé, au cours d'exercices des bras et/ou des jambes, correspondait à des valeurs RPE comprises entre 12 et 14. Ces RPE correspondent à des pourcentages de VO_2 max compris entre 50 et 80 %. Pour d'autres auteurs (*125*), la valeur RPE correspondant au seuil anaérobique pour une population de jeunes adultes âgés de 21 à 37 ans, mesurée en laboratoire, lors d'un exercice physique de pédalage sur ergocycle est autour de 13 pour les sujets femme et 14 pour les sujets hommes.

2.4.4 RPE -CR10 et activité sportive

Les activités qui mettent en jeu pendant une minute ou davantage des groupes musculaires volumineux peuvent faire très largement appel à l'énergie aérobie, et donc mettre en jeu toutes les possibilités fonctionnelles du système circulatoire (*7*). Il est possible dans un grand nombre d'activités (marche, course, natation, aviron, cyclisme, ski de fond, patinage ou exercices gymniques), de choisir son rythme et de faire appel, à un degré variable, aux processus aérobies. Ces exercices physiques peuvent donc être pratiqués par les sujets qui veulent améliorer leur aptitude physique générale. Cependant, ces mêmes activités, lorsqu'elles sont pratiquées à intensité maximale, peuvent faire appel aux processus anaérobies. L'exercice est ressenti comme d'autant plus intense que l'organisme fait plus appel aux processus de dégradation du glycogène en acide lactique (*108*).

L'évaluation de l'aptitude physique et la planification de l'entraînement font partie intégrante de l'entraînement dirigé (*164*). L'intensité de l'entraînement est une notion physiologique, on peut l'évaluer par le % de la VO_2 max , le % de puissance au seuil anaérobie, la FC ou la sensation subjective d'effort. L'effort doit être sensible mais ne doit pas être associé à une sensation désagréable. "Tant que vous vous sentez bien et que vous pouvez encore bavarder avec votre partenaire, le rythme n'est sûrement pas trop soutenu!" . Le sport a été le premier terrain d'expérimentation pour l'évaluation subjective. Les athlètes de haut niveau ne semblent pas être perturbés par la présence d'un tiers lors d'exercice sur ergocycle. Les variables objectives (FC, VO_2) et subjectives (RPE) restent inchangées (*153*). Une meilleure corrélation est également trouvée entre le score RPE et la FC et le score RPE et l'élévation de la température centrale pour ces sujets par rapport à des sujets peu entraînés (*158*). Les variations du RPE sont mieux connues en milieu chaud que froid ou en altitude. Ainsi, pour un même niveau d'intensité d'exercice, cet indice est plus élevé en milieu chaud

que froid. Pour des intensités d'exercice de niveau faible ou élevé en milieu froid ou dans l'eau froide, le score RPE est modérément corrélé avec la FC (r=0,68) et la ventilation pulmonaire (r=0,61) tandis qu'une faible corrélation est observée pour les températures rectale (r=0,20) et cutanée (r=0,10). Les effets de l'hypoxie associés à l'exercice en haute altitude semblent plus influencer le score RPE que ceux relatés au cours d'une exposition au froid en haute altitude (*117*). La VO_2 max baisse parallèlement à celle de la pression barométrique liée à l'altitude (*148*). Le RPE semble donc sensible à la diminution de la VO_2 max, que celle-ci soit due à une mauvaise condition physique pour diverses raisons ou liée à l'altitude. Villiger et al. (164) proposent des programmes d'entraînement en endurance pour un certain nombre de sports (marche, course, natation, bicyclette et ski de fond). Ils préconisent des intensités d'effort pour la FC (170 moins la moitié de l'âge), pour le CR10 entre 2 et 4 et la sensation subjective d'effort "pouvoir parler avec son partenaire". Une unité arbitraire ETL ou estimation des temps restants avant épuisement et le RPE pourraient être associés à des données physiologiques (FC, VO_2) pour prescrire des programmes d'entraînement sur ergocycle (*58*).
Les niveaux d'intensité RPE préférée sont fonction de la nature de l'activité physique ou de l'état de forme physique (*39*). La séance de natation réglée à RPE 12 coûte plus en terme de battements cardiaques que l'exercice de pédalage par les membres inférieurs ou membres supérieurs réglé à la même intensité (*67*). L'intérêt d'utiliser une échelle de Borg est qu'il n'oblige pas de s'arrêter comme c'est le cas avec la fréquence cardiaque (*25*, *63*) ou ne nécessite pas le port de cardiofréquencemètres parfois mal tolérés par certaines personnes.

Le RPE peut être utilisé pour prédire la demande métabolique relative notamment lors de charge physique élevée et un moyen de contrôler l'intensité de l'effort au cours d'exercices physiques astreignants (*50*). L'utilisation du RPE peut être un important outil pour adapter un programme d'entraînement physique dynamique (*45*). Des corrélations ont été trouvées entre le RPE et le temps limite avant épuisement pour des exercices de course entre 90 et 100% de la VO_2 max (*56*). La régulation de l'intensité d'un exercice physique type course à pied sur un tapis roulant par l'utilisation du RPE n'est pas biaisée lors de la présence concomitante d'un facteur distractif visuel chez un groupe de jeunes femmes pratiquant la course à pied régulièrement (*80*). L'exercice physique sur un rameur réglé à un niveau d'intensité choisie semble entraîner des astreintes cardiovasculaires (fréquence cardiaque) et subjectives (RPE) plus basses qu'habituellement par rapport à un même exercice à une intensité de 20% inférieures ou supérieures (*142*). Graves et al. (1998), ont fait pratiquer en laboratoire des exercices de marche d'une intensité réglée sur la vitesse du tapis roulant pour induire un coût cardiaque de 75 % de la fréquence cardiaque maximale théorique (formule d'Astrand)

associés ou non au port de poids de 1,3 Kg au plus à chaque main, poignet ou cheville à un groupe de jeunes sujets sédentaires. Les résultats des mesures des astreintes objectives (énergétiques et cardiovasculaires) et subjectives montraient une élévation du coût énergétique sans augmentation associée du coût subjectif (RPE) ni du coût tensionnel lors du port de charge versus sans port de charge (*66*). Ils constataient une augmentation de la pression artérielle diastolique lors de la marche combinée au port de poids par les 2 mains. Ils ont supposé que cette élévation tensionnelle diastolique était due à la composante statique liée à la préhension palmaire de l'objet (*66*).

Eston et al. (*50*) ont recueilli la FC, la VO_2 et le RPE d'un groupe de jeunes adultes (16 hommes et 12 femmes) en bonne santé lors d'une course à pied sur tapis roulant à une vitesse définie. L'exercice est refait entre 2 et 7 jours plus tard où on demandait aux sujets de régler l'intensité de leur course à pied à un RPE de 9, 13 et 17. Les résultats montraient de fortes corrélations entre le RPE et le % de VO_2 max (r= 0,87 et 0,93) et entre le RPE et le % de la FC maximale théorique (r= 0,84 et 0,90). Le RPE a ainsi une aussi bonne valeur prédictive de l'intensité et de la demande métabolique (%VO_2 max) d'un exercice que la FC. Myles et MacLean (*113*) constataient que le RPE prescrit comme une intensité d'exercice à respecter (RPE-production) est supérieur à celui estimé (RPE-estimation) au cours d'un travail d'intensité variable. Ainsi, au cours de 2 tests sur ergocycle à puissance progressive (80 à 160 W pour les femmes ; 100 à 200 W pour les hommes) le RPE à une puissance donnée du test "estimation" était inférieur à celui obtenu à la même puissance au cours du test "production". Les résultats montraient une corrélation de 0,91 pour le RPE-production avec la puissance (W) d'exercice contre 0,87 pour le RPE-estimation lors de l'analyse de la régression entre le RPE et W de l'exercice de pédalage. Lors d'un exercice de pédalage à puissance et cadence de pédalage variées chez des populations de sportifs jeunes (coureurs à pied, cyclistes) et sédentaires, la cadence (nombre de tours par minute) de pédalage préférée est supérieure à celle où le score RPE est minime pour les puissances développées de 100 et 200 W (*95*). Ce score varie par ailleurs peu pour des cadences de 65 à 95 tours par minute. Pour d'autres auteurs la vitesse de pédalage semble jouer un rôle de premier plan dans la variation du score RPE pour ce type d'exercice (*92*). L'échelle RPE et le CR10 semblent également être un outil validé pour l'évaluation de l'intensité perçue d'exercice se déroulant en milieu aquatique et pourront être utilisées pour la prescription de programme d'entraînement physique en piscine (*160*). Le RPE paraît être un outil pertinent pour la prescription des exercices de course d'intensité correspondant à une lactacidémie de 2,5 à 4 mmol/l (*151*). Cependant, l'utilisation de la FC semble meilleure que le RPE pour maintenir l'intensité d'un exercice à un taux de

lactacidémie équivalent à 4 mmol/l au cours d'une course de fond de 5000 m de distance (*123*). Le RPE augmente au cours du temps pour des programmes d'entraînement physique progressif travaillant autant le versant force que résistance (*157*) et augmente également de façon inversement proportionnelle à la masse musculaire sollicitée lors d'exercices des bras et jambes dans certaines conditions (*136*).

Pour les adultes en bonne condition physique, l'intensité d'effort perçu préféré semble correspondre à un RPE entre 10 et 16 au cours d'un exercice physique et qui correspondrait à une valeur entre 40 et 75% de la VO_2 max (*37, 85*). Pour Eston et al. (*50*) un RPE à 13 correspondait à une demande métabolique équivalente comprise entre 60 et 84% de la VO_2 max. Cette intensité d'exercice peut être préconisée pour une majorité de la population active en bonne santé. Des restrictions peuvent s'imposer à une minorité. Le RPE est également utilisé pour la prescription d'exercice physique différent en fonction du pourcentage de VO_2max (*39*). L'intérêt en entraînement aérobie du RPE à 13 a été démontré à plusieurs reprises en particulier lors d'exercices physiques sur tapis roulant ou ergocycle (*42*). Au cours de tâches de MMC, les sujets jeunes en bonne condition physique choisissent des intensités de travail de 7,5 % plus faibles que celles qu'ils auraient spontanément prises lorsqu'on leur demande de travailler à une intensité d'effort à RPE 13 (*104*). Le RPE utilisé pour régler une intensité donnée (RPE 11, 13 ou 15) d'exercices physiques variés sur diverses machines en salle (rameur, stepper, vélo, tapis roulant, simulateur de ski et machine Airdyne*) a fait apparaître que l'exercice de marche/course sur le tapis roulant dépense plus de calories (VO_2) avec un coût cardiaque supérieur aux autres exercices (*175*). La régulation de l'intensité d'exercice sur tapis roulant par le RPE équivalent à 60% de la VO_2 max semble possible. Cependant, l'intensité effective lors d'exercices sur ergocycle est souvent plus faible que l'intensité cible choisie par le RPE (*43*).

Dans une population de femmes jeunes, l'exercice physique sur tapis roulant (course et marche) à un RPE fixé au préalable à 14, entraîne une élévation de la FC supérieure à celle observée lors d'exercices sur ergocycle, rameur, Airdyne® , stepper et simulateur de ski de fond (*176*). La lactacidémie (*176*) suit la même évolution que la FC sauf pour l'exercice sur simulateur de ski de fond qui induisait la lactacidémie la plus basse à un RPE donné en comparaison aux autres types d'exercices. Pour une intensité subjective d'effort à RPE 14, limite d'arrêt préconisée d'une batterie d'exercice (jogging, ski, stepper, vélo, rameur, ski de fond) l'exercice du jogging entraîne la VO_2 la plus importante (*156*). Chez les femmes âgées (sexa- et heptagénaires), la surveillance de l'intensité de l'exercice physique par l'indice RPE semble plus fiable si on fait le choix d'une gamme d'intensité d'exercice large incluant la

valeur de 50% d'intensité d'exercice relative que de fixer une valeur d'intensité ponctuelle dans l'évaluation de l'effort perçu. La gamme des valeurs RPE 12 à 15 semble trop élevée pour les femmes âgées, comme valeur indicative d'intensité d'effort à maintenir dans les programmes d'entraînement physique (*168*). Le développement de l'utilisation du RPE dans le monde sportif a précédé sont apparition dans le monde du travail. Cependant, à l'heure actuelle les exemples d'utilisation des indices subjectifs RPE sont ainsi nombreux au niveau professionnel (*61*) pour évaluer le poids maximal acceptable lors d'un soulèvement de charge de façon répétitive pendant une heure qu'au niveau sportif (*25*) pour prescrire une intensité d'exercice sur tapis roulant ou sur une piste en extérieur.

2.4.5 Réadaptation fonctionnelle

Au cours d'un exercice sur ergocycle pratiqué par des sujets ayant des facteurs de risque cardiovasculaire mais sans traitement et par des sujets sous aténolol, le niveau de charge de travail choisi est plus faible lorsqu'on leur demande de travailler à des niveaux d'intensité équivalent à des valeurs RPE à 9, 13, 15 ou 17 (*48*). Les indices d'effort perçu ont été validés pour être parfaitement applicables aux mesures psycho-physiologiques afin d'évaluer la tolérance à l'effort, prescrire et contrôler l'intensité de l'exercice physique et prédire les performances (*127*). Il faut bien sûr ne pas oublier que la contrainte aérobique est un important déterminant de l'indice RPE. Borg et al. (*18*) en citant divers auteurs, parlaient de l'intérêt de l'évaluation de l'effort perçu au cours d'exercices des bras avec ses implications théoriques et applications pratiques chez les sujets paraplégiques, amputés ou atteints des membres inférieurs. Ils citaient également Fardy et al. (1977) qui proposaient l'exercice des bras comme moyen d'évaluer la VO_2 max chez les sujets ayant des problèmes artériopathiques ou musculo-squelettique des membres inférieurs.

L'utilisation du CR10 peut être une aide dans la prescription d'exercice physique aux patients fibromyalgiques en permettant une évaluation régulière de la tolérance et de l'acceptabilité de cette prescription et d'en apprécier les progrès (*114*). L'utilisation du RPE pour les sujets obèses (*82*) obéit aux mêmes principes précédemment cités.

Chez les sujets transplantés cardiaques, l'utilisation d'un indice RPE à 13 comme un outil de programme de réadaptation fonctionnelle et physique à l'effort, pourrait aider ces patients à doser leur effort progressivement lors d'exercice sur ergocycle. La priorité d'un tel programme doit d'abord être axée sur la distance du parcours et la vitesse à maintenir devant la grande variation interindividuelle de perception (*139*).

Dans les programmes de réadaptation fonctionnelle cardiaque, le paramètre cible FC doit donc être pris en compte dans le cadre du paradigme RPE (ou CR10) estimation-production. L'indice RPE pris seul pour prescrire les intensités d'exercice pourrait induire des valeurs FC très élevées et donc potentiellement dangereuses (1*41*) malgré une corrélation linéaire RPE-FC pour certains types de travail (*54*). Borg et Linderholm (12) ont également constaté que lors des exercices avec des RPE entre 12 et 17, la FC correspondante diminue lorsque l'âge des sujets augmente pour une valeur RPE donnée. Cette relation adopte un profil comparable que celle d'Astrand liant la FC maximale théorique (FMT) et l'âge (FMT=220-Age).

2.4.6 RPE dans une population d'enfants

L'âge chronologique (*7*) n'est pas un très bon point de référence quand on analyse les données biologiques, particulièrement chez l'enfant et l'adolescent. Chez l'homme, le pic de vitesse de croissance peut survenir à 9 ans 1/2 chez une fille mais pas avant 15 ans chez une autre. Chez les garçons, l'adolescent peut faire sa poussée de croissance à 11 ans, un autre à 17 ans. Etant donné que la poussée de croissance de l'adolescent joue profondément sur la performance, l'évaluation subjective de celle-ci peut être une bonne alternative pour corriger l'effet de l'âge biologique et des pics de croissance décalés dans le temps.

Une variante du RPE, le RPE-C, où les expressions verbales sont remplacées par 7 images représentant un héros imaginaire de bande dessinée (Gaston Lagaffe, annexe 2) qui se montre fatigué progressivement, semble être un bon outil pour surveiller les exercices de faible et de forte intensités chez les enfants ne sachant pas encore lire ou ne maîtrisant pas totalement le sens des expressions verbales de cette échelle (*68*). D'autres échelles à l'usage des enfants existent, notamment le Children's OMNI Scale de Robertson et coll. (2000) et le Children's Effort Rating Table ou CERT. Le Children's OMNI Scale est une version simplifiée du CR10, il n'a pas le "dot" ou le point •, ni de valeurs décimales. Il est gradué de 0 à 10 avec des nombres entiers et associé à des annotations verbales toutes les 2 Unités Arbitraires (U.A.), allant de 0 (pas fatigué du tout) à 10 (très, très fatigué). Sur cette échelle est également dessinée 4 images d'un enfant sur un vélo disposées régulièrement, et escaladant une côte à forte pente dont la valeur 10 est le sommet et d'apparence fatiguée progressivement au cours de la montée (*128*).

Au cours d'un exercice de pédalage sur ergocycle (40, 50 et 60% de la VO_2 max) pratiqué par des enfants âgés de 11 à 15 ans, un score RPE observé chez les jeunes filles est d'autant plus faible que l'intérêt pour ce sport est fort et que la capacité perçue est faible (*149*). La

perception de l'effort au niveau central (cardiorespiratoire) et local (musculaire) est plus importante pour les enfants (âge moyen=11 ans) que pour une population d'adulte jeune (âge moyen=24 ans) au cours d'un exercice sur ergocycle (*93*). Enfin, l'échauffement joue un rôle dans la diminution de l'intensité de l'effort perçu au cours d'un exercice sur ergocycle chez un groupe d'enfants âgés de 8 à 17 ans (*120*).

2.4.7 <u>Autres utilisations d'échelles subjectives</u>

L'utilisation d'échelles subjectives peut améliorer la précision de certains résultats d'autoquestionnaires d'enquête sur les expositions aux risques de troubles musculo-squelettiques (*143*).
La construction de courbes d'isoperception reflétant une intensité modérée d'effort perçu grâce à l'utilisation de l'échelle de Borg CR10 permettrait d'évaluer la tolérabilité des tâches physiques comportant des phases de manutention manuelle avec soulèvement de charge (*24*).

2.4.7.1 Effort respiratoire

Les facteurs subjectifs qui limitent les performances physiques de malades porteurs de pathologies cardio-respiratoires lors d'exercice sur ergocycle sont d'abord l'inconfort perçu au niveau des jambes et les difficultés respiratoires (essoufflement, dyspnée). Ces grandeurs sont quantifiables par les échelles de Borg qui permettent ainsi d'anticiper l'arrêt des tests (*70*).
La maladie modifie la perception de l'effort. Par exemple à effort identique le RPE des patients et notamment les malades atteints de bronchopneumopathies (BPCO en particulier) est supérieur à celui des sujets sains (*91*).
Le CR10 peut être utilisé comme un outil pour évaluer l'astreinte locale (jambe par exemple) ou centrale (la dyspnée) des patients souffrant de maladies cardio-respiratoires lors d'exercice sur ergocycle en milieu médical. Sur un terrain cardio-respiratoire fragile, une mauvaise délivrance de l'oxygène au niveau local va limiter la performance musculaire. La formation locale d'acide lactique va entraîner la fatigue musculaire (*84*).

Dans une population de malades cardiaques chroniques sexagénaires (de stade NYHA 1 et 2) l'évaluation subjective de l'essoufflement et de la fatigue générale au cours d'un exercice physique sous-maximal sur tapis roulant a une reproductibilité plus élevée en utilisant une échelle visuelle analogique (EVA) que le CR10. Cependant on ne constate pas de différence

statistique significative entre ces 2 échelles (*65*). Le CR10 peut être un outil d'évaluation de l'effort respiratoire perçu au cours d'exercice de ventilation active contre résistance dans le cadre du bilan de la capacité d'endurance de l'appareil respiratoire (*85*).
Le tableau 1 présente la correspondance entre le pourcentage de VO_2 max et le degré de dyspnée d'après l'échelle de Borg CR10 (*164*) pour les sportifs et/ou les sujets en bonne condition physique.

Tableau 1 : Evaluation subjective de la dyspnée lors de différentes sollicitations, d'après le CR10 (*164*).

% VO_2 max	Dyspnée	CR10
25	excessivement faible	0,5
50	modérée	3,0
75	plutôt importante	4,5
Zone anaérobie	importante	5,0
100	très importante	7,5

Ce tableau montre que les évaluations subjectives de la dyspnée par le CR10 sont en accord avec les données objectives d'effort que sont le % de VO_2 max mobilisé.

La comparaison du CR10 et de l'EVA lors d'un exercice du bras sur ergocycle adapté fait apparaître une fonction exponentielle de puissance 1,6 pour le CR10 au bras et central (cardiorespiratoire : essoufflement) et une fonction croissante linéaire pour l'EVA (*23*).

2.4.7.2 Inconfort

La fatigue au cours du travail statique produit une sensation d'inconfort, voire même parfois de douleur (*7*). Une revue de la littérature (*22*) sur les différentes méthodes d'évaluation de l'inconfort perçu au travail classe l'échelle de Borg CR10 comme étant la plus complexe à utiliser mais aussi la plus précise versus une échelle de type binaire (oui, non) plus simple mais aussi moins précise.
Il est rappelé que les intensités de mesure de CR10 sont proportionnées. Ainsi, une intensité perçue à 4 est donc une intensité 2 fois plus importante que l'intensité perçue à 2. L'utilisation du CR10 est d'ailleurs préférée à celle de 2 types d'EVA par les opérateurs lors de l'évaluation de l'effort et de l'inconfort perçus au cours de l'utilisation d'un pistolet-tournevis (*161*).

2.4.7.3 Etat de forme et phénomène de surentraînement

Une échelle d'évaluation de la sensation d'effort simplifiée en 5 points est également utilisée pour évaluer l'état de forme des sujets (Effort Sense Rating Scale) et comparée au RPE (*170*). La diminution du rapport (lactacidémie / RPE) permettrait de détecter précocement un risque de surentraînement chez des athlètes de haut niveau pratiquant la course de demi-fond alors que les autres signes objectifs (performance physique, VO_2 max) restent encore à des niveaux satisfaisants (*55*). Une relation linéaire du RPE en fonction du temps au cours d'un exercice de course exhaustive supramaximale de 2 minutes sur tapis roulant à 125 % du VO_2 max a été retrouvée (*40*).

Cette relation est de la forme :

$$RPE = 9{,}06 + 0{,}06 \times \text{temps (secondes)}$$

$$r = 0{,}71 \; ; \; \text{erreur-type} = 2 \; ; \; p<0{,}01$$

Cette course a été effectuée à 3 vitesses (2,3 ; 2,5 et 2,7 m/sec) avec une pente du tapis roulant de 10,5 % chez 15 hommes jeunes et entraînés (VO_2 max moyenne = 58 +/- 4,6 ml/kg/min). Un des premiers signes annonciateurs d'une fatigue imminente est l'augmentation précoce du RPE. Le RPE pourrait être aussi utilisé comme marqueur de surentraînement chez les athlètes de haut niveau au cours d'un exercice physique dynamique général exhaustif (*40*).

2.4.7.4 Autres perceptions sensorielles

Des échelles d'évaluation subjective (CR10 et autres) sont utilisées pour évaluer l'intensité de la perception des sensations et émotions variées telles que la luminosité perçue, le degré de netteté d'un type de caractère alphabétique ou de panneaux de signalisation pour passage à niveau (*112, 133*).

Le RPE peut être utilisé dans diverses évaluations de perceptions dont quelques exemples sont donnés dans le tableau 2 (*116*).

Tableau 2 : Echelle de Borg d'effort perçu appliquée à d'autres types de perception (*116*).

RPE	Effort respiratoire	Inconfort perçu	Ambiance thermique	Etat de motivation
6			frais	
7	pas de difficultés respiratoires	pas d'inconfort		motivation élevée
8				
9		très léger		
10				
11		assez léger		
12		un peu dur	chaud	
13	difficultés respiratoires mineures	inconfort mineur		motivation modérée
14				
15		dur		
16				
17		très dur		
18		très, très dur	brûlant	
19	difficultés respiratoires majeures	Inconfort majeur		Motivation faible
20				

2.4.8 <u>Autres échelles</u>

Une échelle d'évaluation de l'effort en 4 points (1=absolument pas d'effort ; 2=un peu d'effort; 3=effort modéré ; 4=effort maximal) a été utilisée lors d'évaluation fonctionnelle des patients douloureux chroniques. Cette étude (*165*) a montré une absence de corrélation entre les valeurs de la force de préhension palmaire mesurée par le dynamomètre de Stoke et cette échelle. Des échelles numériques d'évaluation de la douleur (*4*) telle qu'une échelle graduée de 0 à 10, et donc une légère ressemblance avec le CR10, est également utilisée lors de test d'exposition à une contrainte thermique froide (*174*). Une échelle de Borg CR10 légèrement modifiée (sans le "dot" ou point •) est proposée pour trier les tâches apparaissant comme à risque (*71*). Ces tâches impliquaient des mouvements de flexion-extension du poignet à des fréquences et des niveaux de force différents et concernaient autant les travaux fins que de force. Ce tri préalable permettait d'optimiser l'indication de la mise en oeuvre d'études complémentaires orientées (*71*). Une autre variante de Borg CR10 (*135*) associée à l'utilisation d'un schéma présentant le corps humain en différentes parties anatomiques, est utilisée pour évaluer l'inconfort perçu par les postiers travaillant en milieu rural. Cette application a été utilisée dans l'étude de terrain présentée plus loin. Cette échelle (*135*) présentait 11 niveaux allant de 0 à 10 mais où seules les 2 extrêmités comportaient des annotations verbales (0="nothing at all"; 10="worst imaginable").

Une échelle dérivée de l'échelle de Borg CR10 a été utilisée chez 705 salariés suédois occupant 16 types d'activités professionnelles différentes pour évaluer la fatigue perçue au cours de leur tâche professionnelle (*1*). Cette échelle (*1*) comportait 11 niveaux, allant de 0 à 10 mais où seules les 2 extrêmités sont associées à des annotations verbales (0="not at all"; 10="to a very high degree"). Cette étude (*1*) servait de base à la construction d'un questionnaire suédois sur le thème de la fatigue professionnelle (Swedish Occupational Fatigue Inventory ou SOFI) où 5 dimensions ont été prises en compte (manque d'énergie, effort physique, inconfort physique, manque de motivation, somnolence).

Des échelles d'évaluation de la fatigue avec une graduation de 0 à 90 par intervalle de 10 sont également utilisées lors d'exercices musculaires statiques endurants des membres supérieurs (*83*). Le CR10 étant trop compliqué pour évaluer l'effort perçu lors de diverses tâches domestiques (travaux de ménage, cuisine, vaisselle, etc.) en Inde, une échelle dérivée de type Likert en 5 points a été utilisée pour établir le classement de la charge de travail perçue au cours de différentes tâches. Aux 2 extrêmités du classement, l'activité de préparation du riz est jugée très légère tandis que les travaux de ménage du sol et les activités de port et de stockage d'eau ont été jugées "lourd" (*163*).

2.5 ERGONOMIE ET PREVENTION

Le mot *ergonomie* est issu du grec : *ergon* (travail) et *nomos* (loi).

D'après Monod et Kapitaniak (*109*), ce terme a été utilisé pour la première fois avec son plein sens en 1949 par K.F.H. Murrell, ingénieur et psychologue gallois. Cependant, un ingénieur polonais du nom de Wojciech (Adalbert) Jastrzebowski l'avait déjà utilisé dans un *Précis d'ergonomie ou la science du travail* en 1857 pour évoquer les rapports de l'homme au travail avec son environnement.

L'ergonomie (109) a été initialement définie par une formule lapidaire comme étant "l'adaptation du travail à l'homme".

Bouisset en 1963 donnait une définition plus explicite en 3 points au moment de la création de la SELF (Société d'Ergonomie de Langue Française) (*109*) :

- L'ergonomie a pour but de contribuer à réduire et, si possible, à prévenir les effets nocifs des conditions de travail sur l'organisme ;
- Pour ce faire, elle tend à chiffrer les répercussions physiologiques et psychologiques des activités professionnelles ;

- Par la connaissance des seuils admissibles pour les différentes fonctions de l'organisme, elle détermine les limites des conditions de travail.

Cette définition avait le mérite de préciser très tôt la place de l'ergonomie, à côté d'autres disciplines susceptibles de jouer un rôle dans l'amélioration des conditions de travail, telles la médecine du travail ou les sciences de l'ingénieur. Elle posait aussi la prééminence des 2 secteurs de connaissance dont elle était issue, la physiologie et la psychologie du travail, disciplines devant être prises en compte dans une démarche expérimentale et même instrumentale. Elle différenciait les 2 voies d'une action possible sur le terrain, suivant qu'elle envisageait des conditions de travail existantes (ergonomie de correction) ou à venir (ergonomie de conception). Elle se déclarait enfin normative puisque fixant des seuils à ne pas dépasser.

-Ergonomie de correction

La demande de correction (*109*) d'un poste existant peut être motivée par plusieurs raisons. L'une des plus fréquentes est la nécessité de changer des machines pour des raisons économiques ou technologiques, ce qui donne l'occasion d'en améliorer l'installation. Une bonne raison supplémentaire est un dysfonctionnement des installations existantes constaté par différents acteurs. L'objectif principal reste d'augmenter l'efficacité du poste de travail par l'intermédiaire de l'optimisation du système homme-machine, devant aboutir à une augmentation de la productivité et de la qualité du travail. Ainsi, le CR10 combiné à d'autres outils tel que l'équation révisée du NIOSH permettent d'évaluer simplement l'intensité d'une contrainte. Cette simplicité permet d'utiliser facilement le CR10 avant et après une intervention ergonomique et de quantifier l'efficacité de celle-ci (*94*).

-Ergonomie de conception

La demande en conception (*109*) constitue une situation optimale pour l'intervenant se plaçant entre les concepteurs et les utilisateurs et sa tâche consiste à traduire en langage d'ingénieurs les exigences de l'opérateur humain. Plus la demande se situe en amont du projet, plus elle se prête à la discussion ou à un réajustement éventuel dans le cadre d'un travail au sein d'une équipe pluridisciplinaire.

Cette pluridisciplinarité devient obligatoire depuis la promulgation de la loi de modernisation sociale (n° 2002-73 du 17 janvier 2002). Cette obligation est conforme aux recommandations européennes plus anciennes (Directive 89/391/CEE du 12 juin 1989).

3. METHODOLOGIE GENERALE

3.1 ETUDE DE LABORATOIRE

3.1.1 Introduction

Un exercice musculaire est considéré comme local ou régional lorsque la masse des muscles impliqués est respectivement inférieure au tiers ou au deux tiers de la masse musculaire totale. Le travail statique correspond à des contractions isométriques brèves ou maintenues, éventuellement jusqu'à l'épuisement comme dans le cas de cette étude.
Des études en laboratoire ont permis de constater qu'un travail musculaire statique pouvait induire des astreintes cardio-vasculaires élevées pour des niveaux d'exercice musculaire modéré allant de 25 à 30 % de la force maximale de contraction musculaire isométrique des différents segments de membre (*140*). Peu d'études jusqu'à présent ont été initiées pour évaluer les capacités fonctionnelles des membres supérieurs dans le milieu professionnel.
L'objectif de cette étude est de mesurer en laboratoire les astreintes cardio-vasculaires et subjectives développées au cours d'une batterie de test. Ces résultats sont une aide pour apprécier les astreintes cardio-vasculaires que l'on pourrait observer dans une population de salariés au cours de certaines activités répétitives statiques intéressant les membres supérieurs et d'évaluer en parallèle la perception de l'effort par l'utilisation de l'échelle CR10 (*14*).

Cette batterie teste les groupes musculaires proximaux, médians et distaux du membre supérieur dominant au cours d'un travail statique continu local voire régional avec application d'une force sous-maximale exhaustive.

3.1.2 Matériel et méthode

3.1.2.1 Population étudiée

30 sujets droitiers volontaires (15 femmes et 15 hommes), étudiants à l'U.F.R. STAPS de Nancy (Faculté de sport), ont participé à l'étude. Ils sont en bonne santé et ne présentent aucun antécédent pathologique particulier (cardio-vasculaire, troubles musculo-squelettiques notamment). Leurs principales caractéristiques anthropométriques sont notées dans le tableau 3. Le protocole expérimental a été accepté par le CCPPRB (Comité Consultatif pour Personnes se Prêtant à la Recherche Bio-médicale).

Tableau 3 : Valeurs moyennes et écart-type entre parenthèses de l'âge, et des principales caractéristiques anthropométriques des 30 sujets.

Grandeurs	Moyennes (écart-type)			
	Hommes (n=15)		Femme (n=15)	
Age (années)	20,7 (1,4)		20,0 (0,9)	
Poids* (Kg)	70,1 (7,3)		59,9 (6,1)	
Taille* (m)	1,77 (0,07)		1,67 (0,07)	
IMC (kg/m2)	22,5 (2,38)		21,5 (2,20)	
Circonférence de l'avant-bras* (cm)	Gauche	Droit	Gauche	Droit
	26,4 (1,4)	27,2 (1,4)	23,6 (1,1)	24,3 (0,9)

(*) Différence statistique significative entre les valeurs moyennes des femmes et des hommes ($p < 0,05$).

L'indice de masse corporelle (IMC) est calculé selon la relation :

IMC = Poids (kg) / Taille au carré (m)

3.1.2.2 Protocole général de la batterie de test

La batterie de tests comportait 7 exercices musculaires explorant les capacités fonctionnelles endurantes des divers segments du membre supérieur dominant. L'exécution des tests s'est déroulée au laboratoire dans une ambiance physique de confort (thermique, sonore, lumineuse, charge mentale) et en tenue de sport. Les 7 tests étaient répartis sur 4 demi-journées de façon aléatoire pour chaque sujet. Chaque demi-journée était séparée de la suivante par au moins deux jours de repos. Deux tests étaient réalisés chaque demi-journée, un temps de repos minimum d'une heure était requis entre l'exécution de ces tests afin de limiter la fatigue musculaire.

Le niveau de force à maintenir s'affichait sur un oscilloscope placé devant le sujet et celui-ci devait garder la position jusqu'à épuisement local pour chacun des 7 tests.

L'estimation de la VO_2max est faite au cours d'une épreuve de "pédalage" avec les bras sur un ergocycle adapté à 4 puissances successives (15, 30, 45 et 60 watts pour les femmes et 15, 30, 50 et 75 W pour les hommes). Chaque palier de puissance était maintenu pendant 3 minutes. La consommation d'oxygène était mesurée à l'aide d'un appareil portable à circuit ouvert (K4 de Cosmed®). La vitesse de pédalage était de 60 tours par minute environ, le principe de l'ergocycle maintenait une puissance constante quelle que soit la vitesse de pédalage. La tolérance de cet exercice était appréciée par le contrôle visuel continu de l'électrocardiogramme (Hellige®) et par les doléances du sujet. L'épreuve sur bicyclette

ergométrique est interrompue soit à la demande du sujet, soit par l'expérimentateur lorsque le sujet était incapable de maintenir la puissance de pédalage ou que sa FC atteignait les valaurs préconisées pour l'arrêt d'une épreuve d'effort (Minnesota Code 1967, revu par Astrand puis repris par l'OMS en 1971). La connaissance des valeurs de VO_2 (consommation d'oxygène) et des fréquences cardiaques pour chaque palier de puissance ont permis de déduire la VO_2 max par extrapolation linéaire selon la méthode décrite par Astrand et Rodahl (*7*).

3.1.2.3 Evaluation des forces maximales volontaires isométriques (FMVi)

Deux capteurs de force ont été spécialement développés par l'INRS pour mesurer les forces de pince digitale et de préhension palmaire. Les principales caractéristiques de ces deux capteurs sont respectivement : une plage de mesure allant de 0 à 20 décanewtons et de 0 à 100 décanewtons et une erreur de mesure inférieure à 0,1 %. Le capteur des force du coude et de l'épaule était un capteur du commerce (Sédème®) dont la plage de mesure était de 0 à 200 décanewtons et l'erreur de la mesure inférieure à 0,1%.

Pour les 7 exercices les sujets étaient assis. La position à adopter par les sujets pour chacun des exercices musculaires était standardisée. Pour les mesures des FMVi de l'avant-bras et de l'épaule droits, le sujet toujours assis, avait le tronc maintenu contre le dossier du siège à l'aide d'une ceinture pour stabiliser la posture tout au long du test. La main droite restait en pronosupination.

La tension artérielle était mesurée à l'aide d'un brassard automatique (Philips®) placé sur le bras gauche qui était au repos, posé sur une table à hauteur du cœur. Les 7 FMVi suivantes ont été mesurées :

- **Pince digitale** (Pince), l'avant-bras droit fléchit à 90 degrés et la main droite en pronosupination. Le sujet maintenait le capteur de force "pince" à l'horizontale entre la face externe de l'index et le pouce.
- **Préhension palmaire** (Préh), les sujets adoptaient la même position du bras que celle décrite précédemment ; le capteur de force était serré à pleine main.
- **Flexion** (Favb) et **extension de l'avant-bras** (Eavb), la mesure de FMVi de la flexion puis de l'extension de l'avant-bras droit était réalisée bras droit vertical maintenu contre le tronc et l'avant-bras coude fléchi à 90 degrés avec le capteur de force fixé au poignet droit. Dans le premier cas (FavB) le capteur de force était fixé entre le sol et le poignet. Dans le deuxième cas (EavB), la traction se faisait vers le bas grâce à une poulie de renvoi.

- **Abduction de l'épaule** (Aep), était réalisée dans un plan frontal, le bras droit tendu en abduction à 90 degrés et exerçant un effort maximal de traction sur le capteur de force Sédème® relié au poignet par une sangle de cuir.
- **Flexion de l'épaule** (Fep), les FMVi développées par les efforts de flexion et d'extension de l'épaule droite sont mesurées alors que le bras droit était en élévation antérieure de 90 degrés par rapport à la verticale avec la main droite en pronosupination et le poignet droit exerçant un effort maximal de traction (permettant la flexion de l'épaule) sur le capteur de force Sédème® relié au poignet par une sangle de cuir.
- **Extension de l'épaule** (Eep), les sujets adoptaient la même position précédemment décrite mais l'effort maximal de traction permet un mouvement d'extension de l'épaule.

Trois essais de FMVi séparés par deux minutes de repos ont été réalisés pour chacun des 7 tests. La plus forte des trois valeurs obtenues, était retenue comme étant la force maximale recherchée et servait de valeur de référence lors de la détermination du pourcentage de force à appliquer lors des tests d'endurance. Cette valeur maximale (FMVi-max) était néanmoins comparée à la valeur maximale moyenne (FMVi-moy) qui est la moyenne arithmétique des trois essais.

3.1.2.4 Choix du pourcentage de la FMVi des 7 exercices à régime exhaustif

Des essais préliminaires pour déterminer ce pourcentage ont été faits en laboratoire afin que la durée des 7 épreuves à régime exhaustif ne puissent pas dépasser 30 minutes. Les capteurs de force étaient maintenus mécaniquement afin que leur poids n'influe pas sur la durée de maintien de chacun des 7 tests.
Les forces d'endurance ont été choisies en tenant compte de l'effet de la gravité sur les segments de membre testés. Ainsi ont été retenus des valeurs de 30 % des FMVi pour les tests de Pince, de Preh, Eavb et Eep et 20 % pour les test Favb, Aep et Fep.

3.1.2.5 Mesures des astreintes cardiovasculaires

La fréquence cardiaque (FC) est mesurée en continue par le cardiofréquencemètre Polar Vantage NV® avec une constante d'intégration de temps de 5 seçondes (*155*). Les données recueillies sont transférées sur PC grâce à un interface adapté et elles sont analysées à l'aide

du logiciel Cardlog®. La fréquence cardiaque de référence (FCr) (*53*) est mesurée après au moins 5 minutes de repos en ambiance physique et psychique neutre en laboratoire et en position assise avant le début des tests.

L'accélération cardiaque est appréciée par le coût cardiaque (dFC) induit par la contrainte des forces musculaires appliquées lors des différents tests d'endurance.

Le coût cardiaque est la différentielle de la fréquence cardiaque à un moment donné du test d'endurance et de la fréquence cardiaque la plus basse mesurée avant le début des épreuves au cours de cette même demi-journée (FCr à P0).

Le coût cardiaque permet de s'affranchir des variabilités interindividuelles des fréquences cardiaques de référence.

La fréquence cardiaque mesurée après deux minutes de récupération (FCR2) à la fin de chacun des 7 tests d'endurance a également été relevée.

Le début des tests et des mesures des astreintes cardiovasculaires commence après 60 à 90 minutes de présence des sujets au laboratoire.

Ce temps est utilisé pour équiper les sujets et pour leur donner toutes les explications nécessaires concernant les épreuves de la demi-journée en cours.

Tableau 4 : Les abréviations utilisées pour les astreintes cardiovasculaires.

FCr	Fréquence cardiaque de référence
dFC	Coût cardiaque = FCC - FCr
FCC	Fréquence cardiaque de crête
CCAmax = FCC-FCr	Coût cardiaque absolu maximum
CCRmax = CCAmax/(FMT-FCr)	Coût cardiaque relatif maximum
FMT= 220 - Age (Astrand)	Fréquence cardiaque maximale théorique
PA syst et diast	Pression artérielle systolique et diastolique

La pression artérielle (PA) est mesurée périodiquement par un brassard automatique à gonflage manuel de marque Philips®. Les mesures sont faîtes à 30 seçondes après le début des épreuves puis toutes les minutes jusqu'à la fin des tests. Des mesures de contrôle ont également été faites après quelques minutes de récupération lorsque les pressions artérielles en fin d'épreuve étaient particulièrement élevées.

Durant les tests, les sujets ignoraient leurs valeurs de pression artérielle et de fréquence cardiaque.

3.1.2.6 Mesures des astreintes subjectives

Parallèlement au recueil des astreintes physiologiques (FC, PA) lors des 7 tests, le CR10 (annexe 1) était également recueilli pendant toute la durée des tests. Le recueil était fait 30 secondes après le début de l'exercice puis toutes les minutes jusqu'à la fin de l'épreuve.

Le mode d'emploi du CR10 a été expliqué à tous les sujets de façon approfondie avant le début des expériences. Les sujets savaient par cœur l'échelle et avaient appris à quantifier l'effort très rapidement. Le CR10 (*100)* était présenté aux sujets à chaque recueil. Ils donnaient instantanément la valeur numérique correspondante à l'effort perçu.

Au cours des 5 à 10 premières secondes de l'épreuve, les sujets stabilisaient leur contraction musculaire statique à une intensité prédéfinie. Celle-ci est contrôlée visuellement par un oscilloscope placé devant eux. Le recueil du CR10 en début d'épreuve était donc problématique d'où le choix de commencer le recueil 30 secondes après le début du test, durée suffisante pour arriver à un état d'équilibre.

3.2 METHODOLOGIE DE L'EXPERIMENTATION DE TERRAIN (abattoir de porc)

3.2.1 Généralités

La fatigue est caractérisée par une diminution de la capacité de travail et des performances. Dans le domaine de la perception de l'effort, une diminution de la capacité de travail peut être caractérisée par une augmentation du CR10. Inversement, au cas où on aurait un CR10 modéré ou faible, ceci entraîne implicitement une capacité de travail et/ou de performance plus ou moins importante potentiellement disponible.

Quel niveau d'intensité d'effort, souhaité ou souhaitable, imposé ou choisi, réel ou perçu, doit-on accepter en milieu professionnel ?

La législation est là pour en fixer les cadres réglementaires, les normes préconisent des limites tolérables, les réponses de l'employeur et du salarié varient au gré de l'adéquation relative de leurs intérêts, parfois communs, souvent contradictoires.

Au niveau thérapeutique, l'intérêt de bien intégrer les signes objectifs cliniques ou fonctionnels dans une démarche de soins est évident. En médecine de prévention, à côté des indicateurs objectifs des contraintes et des astreintes, l'utilisation d'indicateurs subjectifs de l'astreinte est indispensable pour connaître les risques réels au poste de travail. Dans le vaste

champ de la santé au travail, à l'heure des nouveaux systèmes d'organisation du travail et de leurs conséquences pour les protagonistes, l'évaluation subjective est un outil qui s'impose.
L'industrie de la viande est connue comme un grand pourvoyeur de TMS. Ainsi d'après les données de l'enquête "SUMER 94", c'est l'industrie qui présente les conditions de travail physiquement les plus dures. Toutes les études statistiques et épidémiologiques récentes (*29*, *32*) montrent une très forte augmentation des troubles musculosquelettiques (TMS) dans la filière viande et plus particulièrement dans les abattoirs et les ateliers de découpe (*). Ces conditions ont expliqué la réalisation de cette étude dans un abattoir de porcs.

3.2.2 Evaluation subjective de la charge de travail

L'objectif de cette étude est d'évaluer la charge physique de travail de 2 groupes de salariés (10 pareurs et 11 désosseurs) d'un abattoir de cochons à l'aide d'une échelle d'évaluation subjective de l'intensité du travail (échelle CR10) (*100*).

Une explication sur le déroulement de la journée a été donnée au préalable aux salariés participant à l'étude, le matin avant la prise de poste. A 5 moments différents de la journée (3 le matin et 2 dans l'après-midi), une échelle d'évaluation subjective de l'intensité perçue du travail, l'échelle de Borg CR10 (annexe 1) est montrée aux salariés à leur poste de travail avec recueil oral rapide de leurs réponses pour 7 zones du corps (cou, épaules droite et gauche, dos, l'ensemble avant-bras et main droit et gauche et les membres inférieurs). Ces zones sont représentées sur un dessin d'un bonhomme stylisé (Roméo) (fig 6).

L'objectif et la façon de répondre au questionnement proposé par ce dessin était expliqué au salarié en début de poste. Ainsi, au moment voulu, l'expérimentateur présentait "roméo" au salarié et celui-ci donnait oralement la cotation de la difficulté du travail pour chaque zone. L'expérimentateur notait les réponses sur un support à part pour que le salarié ignore ses réponses antérieures. Les salariés n'ont eu aucune difficulté avec ce type de questions.

Un court questionnaire écrit est posé aux salariés pour compléter l'étude en fin de journée (tableau 5). L'observation de chaque poste de travail est complétée par un enregistrement vidéo de chaque tâche après accord préalable des opérateurs.

(*) Claudon L., Guiguet C. (2002). Analyses ergonomiques pour la conception d'outils à main : point de vue et observation des utilisateurs de couteaux dans les abattoirs et ateliers de découpe. I.N.R.S., Laboratoire de Biomécanique et d'Ergonomie, Avenue de Bourgogne, BP 27, 54501 Vandoeuvre Cedex. Article soumis pour publication dans la revue "Le Travail Humain".

Nom :
Heure :

Poste :

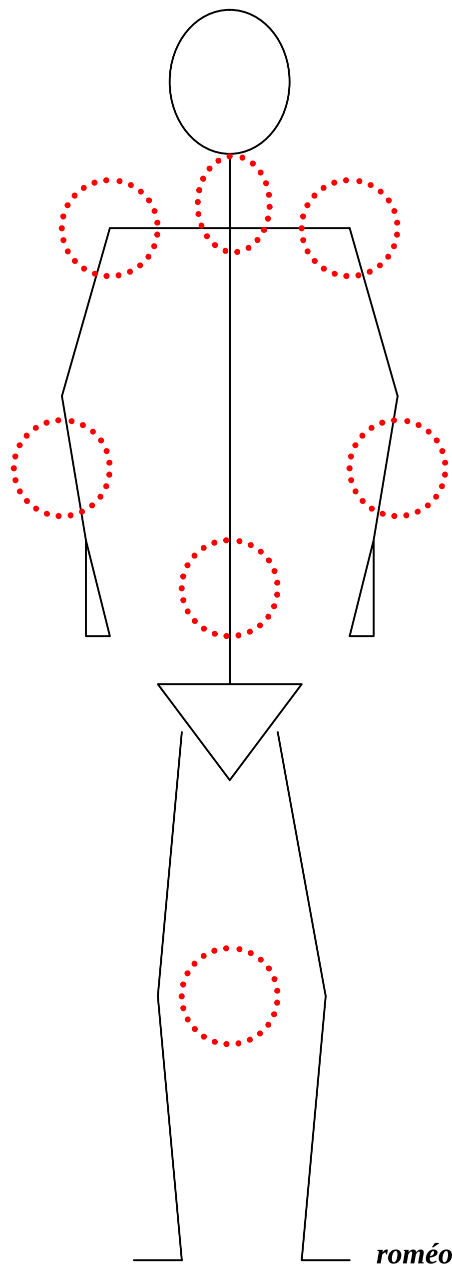


Figure 6 : Support d'évaluation subjective. Le salarié cotait oralement entre 0 et 10 sur une échelle CR10 la pénibilité du travail pour les 7 zones en pointillées (main-avant-bras ; bras-épaule, cou, lombes et membres inférieurs).

3.2.3 Caractéristiques des salariés

Dix pareurs et 11 désosseurs dont l'âge moyen était de 27,6 ans (écart-type =5,7), l'ancienneté moyenne au poste de 7,2 mois (ét = 4,9), l'ancienneté moyenne dans le travail des abattoirs de 2,9 années (ét = 3,5). Leur indice moyen de masse corporelle (IMC) était de 22,9 (ét =3,3).

Leurs forces maximale de préhension : (FMP) étaient de 47,4 daN (ét =11,2) pour la main droite et 46,1 daN (ét =10,8) pour la main gauche. Les données anthropométriques et professionnelles des 2 groupes de salariés sont présentées dans le tableau 5.

Définitions:

- **pareur** : l'opérateur enlève les parties grasses des pièces de viande, il "dégraisse" ; il enlève également les nerfs, les tendons et les aponévroses des pièces de viande préalablement désossées.
- **désosseur** : l'opérateur enlève les parties osseuses des pièces de viande, il "désosse", de façon manuelle ou mécanique ;
- échine : pièce de viande localisée dans la zone du cou du porc ;
- poitrine : pièce de viande correspondant aux parties latérales du corps soutenues par les côtes ;
- carré : c'est la partie osseuse de la poitrine que l'on sépare au cours du désossage ;
- carré "japonais" : carré préparé selon un process entraînant une cadence de travail accélérée ;
- jambon : pièce de viande localisée dans la zone des cuisses des porcs.

Tableau 5 : Age, ancienneté et activités physiques des 2 groupes de salariés. Valeurs moyennes et écart-type (ét) entre parenthèses.

		Pareurs (n=10)		**Désosseurs** (n=11)
		F (n=7)	**H** (n=3)	**H**
Age moyen **(années)**		26,5 (6)	32,3 (9,4)	26,9 (4,1)
Ancienneté dans le métier **(années)**		3,1 (3,7)		2,8 (3,6)
Ancienneté au poste **(mois)**		6,3 (4,3)	3,4 (3,4)	8,9 (5,2)
Pratique d'un sport régulièrement		60 % (6/10)		27 % (3/11)
FMP **en daN**	**AvBD**	38,2 (8,0)	55,6 (9,3)	51,2 (10,0)
	AvBG	36,5 (8,9)	52,3 (5,7)	50,8 (9,1)
IMC		21,4 (3,4)	23,9 (4,2)	23,6 (2,9)

3.3 ANALYSE DES DONNEES

L'analyse statistique de l'ensemble des données recueillies est faite grâce à l'utilisation du logiciel StatgraphicsPlus® version 4.0. Les valeurs moyennes des résultats des tests ont été calculées séparément pour les sujets hommes et femmes. Elles ont été comparées au moyen

d'un test "t" de Student. Le seuil de significativité statistique a été choisi pour une valeur "p" inférieure à 0,05. Les coefficients de corrélation de Pearson ont également été calculés lors du traitement des données et des analyses de régression linéaire de l'évolution des astreintes cardiovasculaires (PA et FC) et des astreintes subjectives (RPE) au cours du temps.

Les valeurs de référence utilisées pour l'analyse des données sont pour l'IMC normal entre 19 et 25 $Kg.m^{-2}$ avant 50 ans et entre 25 et 27 $Kg.m^{-2}$ après 50 ans. Le tableau 6 donne les valeurs de référence des forces maximales de préhension (FMP) en fonction de l'âge.

Tableau 6 : Valeurs moyennes (en décanewtons, daN) et écart-type entre parenthèses de la FMP de référence en fonction de l'âge et du genre (*102*).

FMP en daN		Main dominante (D)	Main non dominante
Hommes	25-30 ans	53,6 (5,9)	49,2 (5,9)
	30-35 ans	52,1 (4,9)	48,0 (4,9)
Femmes	25-30 ans	31,5 (7,9)	28,9 (7,9)

Afin de limiter l'effet des variabilités inter-individuelles de durée d'endurance (DT) celle-ci est découpée en 5 périodes, notées P1 à P5 (fig. 7 et 8). P0 est la phase de repos qui précède le test. Chaque période correspond à un pourcentage de temps de DT défini comme suit : P1 entre 0 à 9 % de DT ; P2 entre 10 et 39 % de DT ; P3 entre 40 et 59 % de DT ; P4 entre 60 et 89 % de DT et P5 entre 90 et 100 % de DT.

4. RESULTATS

4.1 RESULTATS DE L'ETUDE DE LABORATOIRE

4.1.1 Capacités cardiovasculaires des sujets

Les valeurs moyenne et écart-type de la VO_2 max déterminées au cours du pédalage avec des membres supérieurs chez les sujets hommes (3,34 l/min. +/-0,46 avec n = 15) et femmes (2,22 l/min. +/- 0,28 avec n = 15) ont une différence statistiquement significative ($p < 0,05$).
La VO_2 max au cours d'un exercice des bras est d'environ 70 % de celle d'un exercice des jambes. Les caractéristiques anthropométriques (circonférence de l'avant-bras) ont été mesurées sur les 2 membres supérieurs, dominant (droit) et non dominant (tableau 3).

4.1.2 Tests de force maximale et d'endurance

Les valeurs moyennes et écart-type des sept FMVi des forces appliquées lors des 7 tests d'endurance et du pourcentage de la FMVi mise en jeu lors des tests d'endurance chez des sujets hommes et femmes (jeunes, actifs et en bonne santé), sont respectivement retranscrites dans les tableaux 7 et 8.
Il n'y a pas de différence statistique significative ($p > 0,45$) du pourcentage de la force (FMVi) mis en jeu lors des tests d'endurance entre les hommes et femmes. De même, lorsqu'on tient compte dans les calculs du pourcentage de la FMVi mise en jeu lors des tests d'endurance, il n'y a pas différence significative quand la valeur FMVi retenue est la meilleure des 3 FMVi (% FMVi du tableau 8) ou la moyenne des 3 FMVi (% FMVi moyenne "corrigée" du tableau 8). L'écart entre " % FMVi " et "% FMVi corrigée" est de l'ordre de 1 à 2 %.
Les valeurs des FMVi développées par les femmes représentent environ 65 % de celles des hommes tous tests confondus. Par contre, la force (FMVi) pour la "pince digitale" des femmes est d'environ 84 % de celle des hommes. Ce pourcentage est de 58 % seulement lorsqu'il s'agit de la force de préhension palmaire. Cette dernière valeur (58 %) est comparable à celles observées dans diverses publications scientifiques antérieures. (57 à 60% d'après *8, 31, 102*)

Par ailleurs, les performances (FMVi) des 30 sujets concernant l'exercice de préhension palmaire (Préh) sont correctes lorsqu'on les compare à celles publiées dans la littérature (*102*).

Ainsi, la valeur moyenne des FMVi de la préhension palmaire des sujets hommes oscillent entre 90 et 93 % de celles publiées et pour les sujets femmes, elle est de l'ordre de 88 à 112 % de celles publiées (*8, 31, 102*).

Tableau 7 : Valeurs moyennes et écart-type entre parenthèses des 7 FMVi.

Test	**FMVi** (daN=décaNewton) (écart-type)	
	Hommes (n=15)	Femmes (n=15)
Pince	11,9 (3,6)	10,0 (1,6)
Preh*	48 (7,2)	27,8 (4,6)
Favb*	29,4 (3,3)	19 (4,5)
Eavb*	23,5 (3,4)	17,2 (2,8)
Aep*	13 (2)	8,7 (1,5)
Fep*	12,9 (1,6)	8,6 (1,6)
Eep*	20,5 (2,8)	13,8 (1,6)

(*) Différence statistique significative entre les valeurs moyennes des femmes et des hommes pour les FMVi ($p < 0,05$).

Les forces appliquées au cours des exercices d'endurance sont notées dans le tableau 8.
Dans ce tableau, le pourcentage de la FMVi "corrigée" est en pourcent de la valeur moyenne des 3 forces maximales.
FMVi est en pourcent de la valeur maximale de la FMVi.

Tableau 8 : Valeurs moyennes et écart-type entre parenthèses en valeurs absolue (daN) et relative (%) des sept forces appliquées dans les conditions expérimentales pour les 30 sujets (15 femmes et 15 hommes).

Test	**Force d'endurance** (daN)		**% FMVi***		**% FMVi moyenne corrigée***	
	Hommes	Femmes	Hommes	Femmes	Hommes	Femmes
Pince	3,2 (0,8)	2,9 (0,4)	26,8	29	28	30,5
Préh	14,9 (17)	8,3 (0,7)	31,0	29,8	32,4	31,7
Favb	5,5 (0,6)	3,5 (0,9)	18,7	18,4	20,4	19,9
Eavb	6,7 (0,7)	4,8 (0,6)	28,5	27,9	30,7	29,5
Aep	2,3 (0,4)	1,5 (0,4)	17,7	17,2	18,6	18,3
Fep	2,3 (0,4)	1,5 (0,4)	17,8	17,4	18,7	18,3
Eep	5,8 (0,6)	3,8 (0,4)	28,3	27,5	30,4	29,2

(*)Pas de différence statistiquement significative entre les sujets homme et femme pour le niveau de force relative.

Les valeurs moyennes de durée des 7 tests d'endurance sont reportées dans le tableau 9.

Tableau 9 : Valeurs moyennes et écart-type entre parenthèses des durées de maintien en minute des 7 tests d'endurance chez les 30 sujets (15 femmes et 15 hommes).

Test	Pince	Preh	Favb	Eavb	Aep	Fep	Eep (*)
Hommes	3,4 (0,8)	3,4 (0,6)	8,2 (4,0)	6,2 (3,1)	3,4 (1,0)	3,1 (0,7)	7,7 (4,8)
Femmes	3,8 (1,1)	3,6 (1,0)	8,2 (4,0)	6,2 (2,3)	3,2 (0,8)	3,5 (0,9)	**14,8** (10,2)

(*) Différence statistiquement significative entre les valeurs moyennes des femmes et des hommes ($p < 0,05$).

Il n'y a pas de différence d'endurance entre les hommes et les femmes pour les six premiers tests.

Par contre, il existe une différence significative entre les valeurs moyennes d'endurance des femmes et des hommes pour l'exercice d'extension de l'épaule ($p < 0,05$).

Une corrélation existe entre les durées de certains tests d'endurance.

Ainsi, pour les femmes on observe une corrélation pour les exercices suivants (Pince, Préh, Eep; r > 0,66 et p < 0,01) et chez les hommes une corrélation entre les exercices suivants (Eavb, Eep ; r = 0,45 et p < 0,05).

4.1.3 Astreintes cardiovasculaires

Les trois graphiques de la figure 7 montrent l'augmentation des valeurs des astreintes cardiovasculaires mesurées (coût cardiaque, pression artérielle systolique et diastolique) en fonction du temps pour les 7 tests d'endurance et les 15 femmes et les 15 hommes.

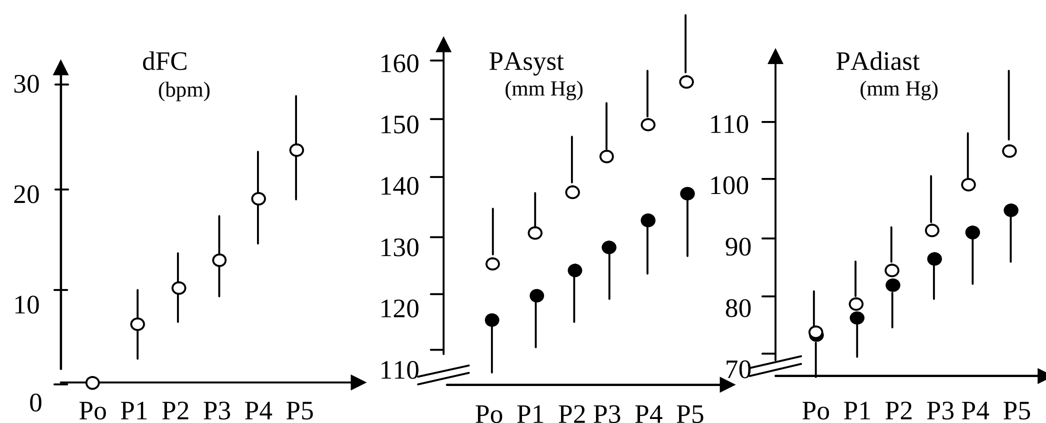


Figure 7 : Evolution des valeurs moyennes et écart-type du coût cardiaque (dFC), des pressions artérielles systoliques (PA syst) et diastoliques (PA diast) pour les 7 tests d'endurance au cours du temps (temps découpé en 5 périodes successives notées P1 à P5 (cf 3.3), chez les sujets homme (o) et femme (•).

Le tableau 10 présente les moyennes et écarts-types des coûts cardiaques (dFC), des pressions artérielles systoliques (PA syst) et diastoliques (PA diast) pour les sujets homme et femme et pour chacun des 7 tests d'endurance. Les valeurs moyennes des astreintes cardiovasculaires sont significativement plus élevées chez les hommes que pour les femmes (p < 0,002).

Les tests d'endurance (pince digitale et préhension palmaire) induisent des coûts cardiaques plus faibles que les autres tests (p < 0,03). Par contre ils provoquent les valeurs de pression artérielle significativement plus élevées que celles induites par les autres tests (p < 0,02).

L'augmentation moyenne du coût cardiaque (dFC) entre le début et la fin des tests d'endurance est comprise entre 22 et 29 bpm chez les femmes et 20 à 36 bpm chez les hommes.

Les variations moyennes correspondantes des pressions artérielles systolique et diastolique sont 18 (ét = 12) et 29 (ét = 10) mmHg pour la systolique et de 24 (ét=11) et 33 (ét=10) mmHg pour la diastolique pour les femmes et les hommes respectivement.

Ces valeurs moyennes traduisent une astreinte cardiovasculaire modérée pour les femmes, un peu plus élevée pour les hommes.

Dans cette étude, 5 % des tests d'endurance se terminaient avec un coût cardiaque d'au moins 50 battements par minute (bpm).

La pression artérielle systolique dépassait 160 mmHg dans 15 % des tests.

Tableau 10 : Valeurs moyennes et écart-type entre parenthèses du coût cardiaque (dFC) et des pressions artérielles systolique (PA syst) et diastolique (PA diast) à la fin des 7 tests d'endurance chez les 15 femmes et les 15 hommes. dPA* (dernière colonne) correspond respectivement à la différentielle tensionnelle systolique et diastolique chez les hommes et les femmes entre la fin et le début des 7 tests.

Test			Pince	Préh	Favb	Eavb	Aep	Fep	Eep	7 tests	dPA* (cm Hg) 7 tests
dFC (bpm)	Homme		20 (6)	24 (9)	**31** (14)	25 (8)	**30** (8)	27 (9)	**36** (10)	28 (5)	
	Femme		22 (9)	24 (7)	23 (12)	27 (9)	20 (8)	23 (10)	29 (12)	24 (3)	
PA (cmHg)	H	syst	15,6 (1,2)	**15,9** (1,4)	15,1 (1,0)	14,4 (1,6)	14,9 (1,4)	14,4 (1,6)	14,4 (1,0)	15,0 (0,6)	2,9 (= 15,0 - 12,1)
		diast	9,8 (2,0)	**11,4** (1,9)	10,7 (1,3)	10,1 (1,0)	10,5 (2,2)	**10,9** (2,7)	10,2 (1,8)	10,6 (0,6)	3,3 (= 10,6 - 7,3)
	F	syst	13,8 (1,2)	**14,3** (1,2)	13,2 (0,8)	13,4 (0,8)	13,8 (1,4)	13,7 (1,2)	12,9 (0,6)	13,6 (0,5)	2,2 (= 13,6 - 11,4)
		diast	9,7 (1,1)	**10,4** (1,1)	9,5 (1,4)	9,6 (0,9)	10,4 (1,1)	9,4 (1,3)	9,2 (1,4)	9,7 (0,5)	2,4 (= 9,7 - 7,3)

(*) dPA correspond aux coûts tensionnels systoliques et diastoliques des 7 tests chez les hommes et les femmes.

La pression artérielle au départ des exercices d'endurance est notée ooPA. L'évolution au cours du temps des pressions artérielles peut être présentée sous forme d'une régression linéaire dont les coefficients sont présentés dans le tableau 11.

Tableau 11 : Valeurs moyennes et erreur-type entre parenthèses des ordonnées à l'origine (oo) et des pentes (Pente) des régressions linéaires entre la pression artérielle diastolique (PAdiast) et systolique (PAsyst) en fonction du temps ($p < 0,05$).

Test	Pince (n = 29)	Préh (n = 29)	Favb (n = 30)	Eavb (n = 29)	Aep (n = 28)	Fep (n = 27)	Eep (n = 29)	Sept tests	
								H	F
ooPAdiast (cmHg)	7 (0,1)	6,8 (0,1)	7,9 (0,1)	7,4 (0,1)	7,6 (0,1)	7,4 (0,1)	7,4 (0,1)	7,3 (0,2)	7,3 (0,2)
Pente PAdiast (cmHg/minute)	0,8 (0,09)	**1,34** (0,09)	0,32 (0,09)	0,51 (0,09)	1 (0,09)	1 (0,1)	0,4 (0,09)	0,8 (0,1)	0,6 (0,1)
ooPA syst (cmHg)	11,9 (0,2)	11,8 (0,2)	12,6 (0,2)	12,3 (0,2)	11,9 (0,2)	11,7 (0,2)	12,3 (0,2)	12,1 (0,3)	11,4 (0,3)
Pente PAsyst (cmHg/minute)	0,9 (0,1)	**1,1** (0,1)	0,38 (0,1)	0,33 (0,1)	0,9 (0,1)	1,1 (0,1)	0,28 (0,1)	0,7 (0,2)	0,5 (0,2)

Les 7 exercices d'endurance peuvent être classés en 2 groupes suivant le profil de la droite de régression linéaire (équation 1) illustrant l'évolution en fonction du temps des pressions artérielles systoliques et diastoliques (tableau 12).

Le 1er groupe concerne les tests "Pince", "Préh", "Aep" er "Fep".

Le second groupe comprend les tests "Favb", "Eavb" et "Eep".

$$\boxed{PAf = ooPA + \text{durée du test} \times \text{pente}} \quad \text{(équation 1)}$$

Dans cette équation, PAf est la PA mesurée à la fin du test.

Tableau 12 : Paramètres des équations liant la pression artérielle (systolique ou diastolique) à la fin du test à la durée de celui-ci. La forme générale de ces équations est donnée dans l'équation 1. Toutes les relations sont significatives au seuil $p < 0,05$.

Hommes (n = 15)	Pince, Préh, Aep, Fep	PA syst en fin d'épreuve = 11,8 + durée du test x 1
		PA diast en fin d'épreuve = 7,2 + durée du test x 1,1
	Favb, Eavb, Eep	PA syst en fin d'épreuve = 12,5 + durée du test x 0,3
		PA diast en fin d'épreuve = 7,5 + durée du test x 0,4
Femmes (n = 15)	Pince, Préh, Aep, Fep	PA syst en fin d'épreuve = 11,5 + durée du test x 0,7
		PA diast en fin d'épreuve = 7,2 + durée du test x 0,8
	Favb, Eavb, Eep	PA syst en fin d'épreuve = 11,3 + durée du test x 0,3
		PA diast en fin d'épreuve = 7,3 + durée du test x 0,3

Le tableau 13 présente les valeurs moyennes et écart-type de :

- la FC de référence (FCr) : FC mesurée chez un sujet assis au repos au moins 5 minutes ;
- et les indices de "pénibilité de crête " suivants: FC crête, "delta FC" et le CCR max.

Tableau 13 : Valeurs moyennes et écart-type entre parenthèses des FCC, FCr, du dFC et du CCR max des 7 tests chez les 15 femmes et 15 hommes (bpm=battements/min.).

Test		Pince	Préh	Favb	Eavb	Aep	Fep	Eep
FCC bpm	H	86 (12)	86 (11)	91 (14)	95 (17)	97 (16)	94 (11)	**100** (22)
	F	84 (12)	86 (10)	89 (13)	95 (10)	90 (11)	88 (17)	90 (13)
FCr bpm	H	66 (3)	62 (6)	60 (8)	70 (12)	67 (12)	67 (13)	64 (7)
	F	62 (7)	62 (9)	66 (8)	68 (8)	70 (11)	65 (10)	61 (8)
dFC bpm	H	20 (6)	24 (9)	**31** (14)	25 (8)	**30** (8)	27 (9)	**36** (10)
	F	22 (9)	24 (7)	23 (12)	27 (9)	20 (8)	23 (10)	29 (12)
CCRmax %	H	14,4	17,5	22,3	19,4	22,7	20,4	**26,6**
	F	16	17,4	17,1	20,4	15,4	17	20,8

Les dFC des 7 tests d'endurance chez les sujets femmes sont en deçà des 30 bpm alors que chez les sujets hommes, les exercices (Favb, Aep et Eep) entraînent un coût cardiaque égal ou supérieur à 30 bpm, valeur seuil reprise dans le Code du travail.

Ces dFC sont respectivement de 31, 30 et 36 bpm pour les tests Favb, Aep et Eep .

A la fin des tests, la FC récupère bien puisque la FC enregistrée 2 minutes après la fin des test n'est pas significativement différente de la FCr ($p > 0,10$).

4.1.4 Astreintes subjectives

Le tableau 14 présente la durée moyenne des 7 tests d'endurance, exprimée en pour cent de la durée totale pour des valeurs données du CR10 incrémentées de 0 à 10.

Tableau 14 : Durée moyenne des tests (DT) et erreur-type entre parenthèses en pourcentage du temps total de celui-ci pour des valeurs du CR10 comprises entre 0 et 10.

CR10 (U.A.)	Nombre de valeurs (n) *	Valeur moyenne de DT (e-t)
0	36	2,5 (2,2)
1	62	12 (1,7)
2	119	16 (1,2)
3	145	22 (1,1)
4	130	31 (1,2)
5	110	41 (1,3)
6	82	45 (1,5)
7	111	59 (1,3)
8	68	63 (1,6)
9	85	68 (1,4)
10	311	84 (0,7)

U.A. : Unité Arbitraire.
(n)* : pour chaque valeur CR10, le nombre de données recueillies à chaque niveau de CR10 n'est pas identique et est donné à titre indicatif.

Les résultats du tableau 14 montrent qu'à un CR10 à 4, en terme de temps, correspond au tiers de l'endurance. De même, un CR10 à 10 correspond, en moyenne, à 84 % du temps d'endurance.

Tableau 15 : Valeurs moyennes et erreur-type entre parenthèses de l'ordonnée à l'origine (ooCR10) et de la pente de la régression linéaire entre les CR10 et la durée du test (% de DT).

	Pince (n=27)	Préh (n=30)	Favb (n=29)	Eavb (n=27)	Aep (n=28)	Fep (n=27)	Eep (n=29)	H n=97	F n=100	**Effet**	
										Genre	Test
ooCR10 (U.A.)	0,5 (0,3)	1,2 (0,3)	1,7 (0,3)	1,1 (0,3)	1,1 (0,3)	0,8 (0,3)	1,4 (0,3)	1,4 (0,3)	0,8 (0,3)	p=0,2	p<0,01
Pente CR10 U.A./min.	2,6 (0,1)	2,8 (0,1)	1,3 (0,1)	1,9 (0,1)	2,8 (0,1)	3,1 (0,1)	1,3 (0,1)	2,2 (0,1)	2,3 (0,1)	p=0,2	p<0,01
CR10 (U.A.) à 0,5 min.	2,2 (0,5)	2,8 (0,5)	2,3 (0,6)	2,0 (0,4)	2,7 (0,5)	2,6 (0,3)	1,8 (0,5)	2,7 (0,2)	2,0 (0,2)	p=0,2	p<0,01

(*) n=27 à 30 sujets ou n=97 ou 100 mesures

La dernière ligne du tableau 15 indique la valeur moyenne du CR10 30 secondes après le début des tests. Les ordonnées à l'origine (oo) sont significativement différentes pour les tests (p<0,01) et non pour le genre (p=0,2).

Les résultats du tableau 15 montrent que :

- il n'y a pas de différence significative entre les hommes et les femmes pour les 3 paramètres (ooCR10, pente CR10 et CR10 à 0,5 min.) ;
- par contre, ces paramètres sont significativement différents en fonction des tests.

Tableau 16 : Valeurs moyennes et erreur-type entre parenthèses des pentes des droites de régression linéaire par test et pour les 7 tests confondus pour CR10, FC et PA syst. et diast.

	Pente CR10 (U.A./min.)	Pente TA syst. (cm Hg/min.)		Pente TA diast. (cm Hg/min.)		Pente FC (batt./min)	
		H	F	H	F	H	F
Pince	2,6 (0,1)	1,08 (0,1)	0,5 (0,1)	0,8 (0,09)	0,7 (0,09)	6 (0,1)	6 (0,1)
Préh	2,8 (0,1)	1,2 (0,1)	0,7 (0,1)	1,3 (0,1)	1,0 (0,1)	7,0 (0,1)	7,0 (0,1)
Favb	1,3 (0,1)	0,3 (0,1)	0,07 (0,1)	0,3 (0,1)	0,2 (0,1)	4,0 (0,1)	3,0 (0,1)
Eavb	1,9 (0,1)	0,3 (0,1)	0,2 (0,1)	0,4 (0,1)	0,3 (0,1)	4,0 (0,1)	4,0 (0,1)
Aep	2,8 (0,1)	0,8 (0,1)	0,6 (0,1)	0,8 (0,1)	0,8 (0,1)	9,0 (0,1)	3,0 (0,1)
Fep	3,1 (0,1)	0,8 (0,1)	0,6 (0,1)	1,1 (0,1)	0,6 (0,1)	9,0 (0,1)	7,0 (0,1)
Eep	1,4 (0,1)	0,2 (0,1)	0,04 (0,1)	0,3 (0,1)	0,1 (0,1)	5,0 (0,1)	2,0 (0,1)
femmes	2,3 (0,1)	0,52 (0,2)		0,58 (0,4)		5,0 (0,5)	
hommes	2,2 (0,1)	0,70 (0,3)		0,80 (0,5)		6,0 (0,5)	

Les résultats du tableau 16 montrent que la pente est significativement (p<0,01) différente entre les différents tests autant pour le CR10, la PA que pour la FC. A l'inverse, la différence entre les femmes et les hommes n'est significative (p<0,01) que pour les pentes d'évolution de PA. Par contre, il n'y a pas de différence significative (p>0,15) entre les femmes et les hommes pour l'évolution du CR10 et de la FC au cours des tests.

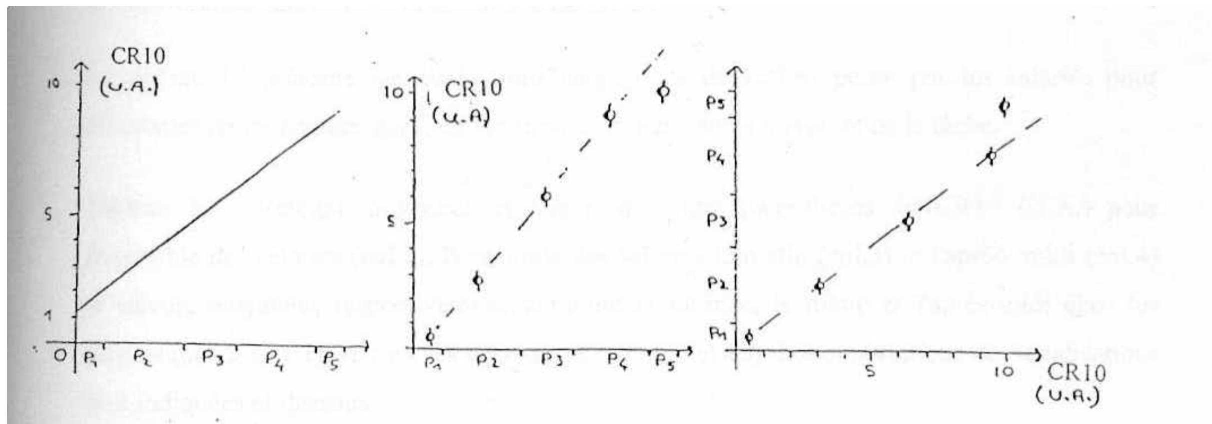


Figure 8. Représentation graphique de la droite de régression linéaire de l'évolution du CR10 en fonction de la durée des tests en pour cent de la durée totale ($p<0,01$; $r=0,88$; erreur-type=1,4); et représentation graphique de la relation entre le CR10 et la durée des tests en pour cent. Cette durée des tests en pour cent est découpée en 5 périodes notées de P1 à P5 (cf 3.3).

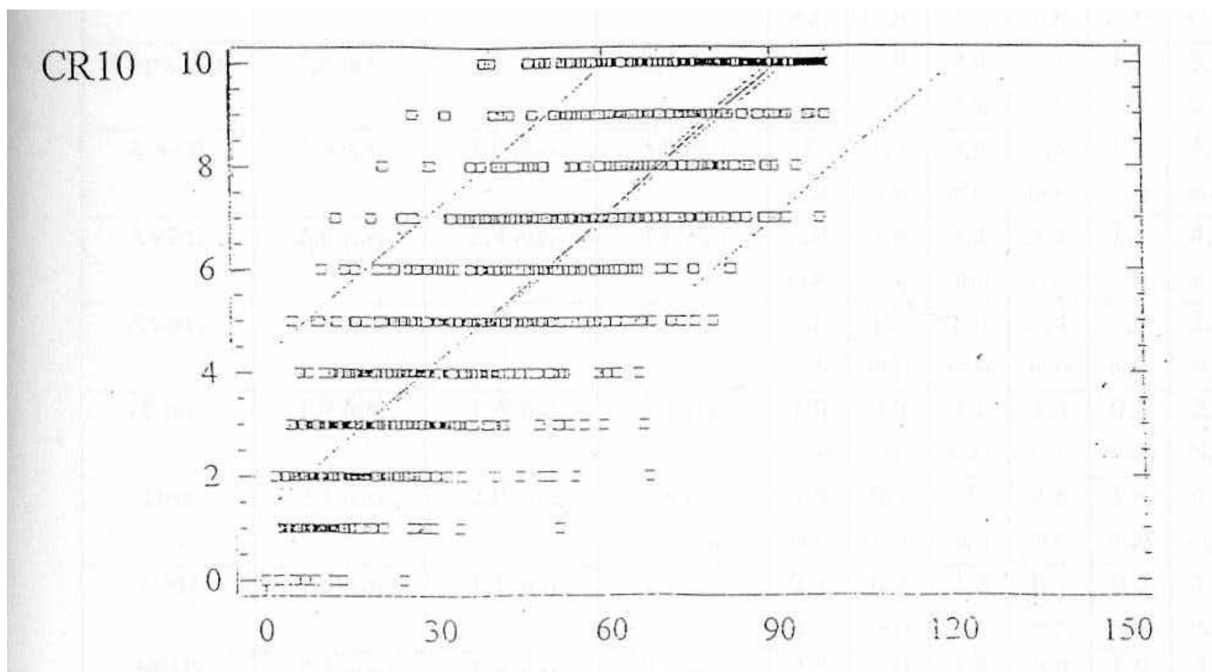


Figure 9. Représentation de la droite de régression linéaire du CR10 (avec son nuage de points) en fonction de la durée des tests en pour cent de la durée totale.

La régression linéaire (équation 2) modélise la relation entre le CR10 et la durée des tests.

Cette équation est de la forme:

$$CR10 = 1,31 + 0,094 \times DT \qquad r = 0,88 \; ; \; \text{erreur-type} = 1,4 \; ; \; p < 0,01$$

DT est l'abréviation de la durée du test en pour cent (Cf. Tableau 14).

4.2 RESULTATS DE L'ETUDE DE TERRAIN

Le tableau 17 présente les évaluations subjectives de l'effort perçu par les salariés pour différentes zones anatomiques, en fonction de la période de travail et de la tâche.

Tableau 17 : Valeurs moyennes et erreur-type entre parenthèses du CR10 (U.A.) pour l'ensemble des salariés (col.2), l'ensemble des salariés le matin (col.3) et l'après- midi (col.4) et valeurs moyennes respectivement sur toute la journée, le matin et l'après-midi chez les pareurs (col.5, 6 et 7), et chez les désosseurs (col.8, 9 et 10). Les abréviations des localisations sont indiquées ci-dessous.

ENSEMBLE DES SALARIES				PAREURS (n=49)			DESOSSEURS (n=48)		
localisation	journée (J) (n=97)	matin (M) (n=62)	après-midi (A-M) (n=35)	**J**	**M**	**A-M**	**J**	**M**	**A-M**
2MS	2,1 (0,4)	1,8 (0,3)	2,7 (0,4)	1,8 (0,4)	1,4 (0,3)	2,1 (0,5)	2,5 (0,5)	1,4 (0,3)	3,5 (0,7)
2 épaules	1,8 (0,3)	1,5 (0,4)	2,4 (0,4)	1,6 (0,2)	0,9 (0,1)	2,4 (0,5)	2,1 (0,5)	1,2 (0,3)	3,1 (0,7)
2 AvB	2,3 (0,5)	2,0 (0,4)	3,0 (0,6)	2 (0,3)	1,3 (0,3)	2,4 (0,5)	2,8 (0,5)	1,7 (0,4)	3,8 (0,8)
AvBD	**2,8** (0,8)	**2,4** (0,7)	**3,6** (0,8)	**2,4** (0,4)	**1,6** (0,4)	**3,2** (0,6)	**3,2** (0,6)	**2,1** (0,5)	**4,3** (0,9)
AvBG	1,9 (0,7)	1,7 (0,4)	2,4 (0,6)	1,6 (0,3)	1,1 (0,3)	1,8 (0,3)	2,4 (0,5)	1,3 (0,3)	3,5 (0,7)
Cou	1,7 (0,6)	1,4 (0,4)	2,1 (0,6)	1,9 (0,3)	0,8 (0,1)	3,1 (0,6)	1,4 (0,4)	0,5 (0,08)	2,3 (0,5)
Dos	2,1 (0,6)	2,0 (0,6)	2,4 (0,6)	1,8 (0,3)	0,7 (0,09)	3 (0,7)	2,6 (0,6)	1,4 (0,3)	3,7 (0,8)
2 MI	1,3 (0,5)	1,1 (0,3)	1,7 (0,6)	2,1 (0,6)	0,9 (0,1)	3,3 (0,7)	0,7 (0,2)	0,3 (0,06)	1,1 (0,3)
MSD	2,5 (0,4)	1,4 (0,4)	3,6 (0,8)	2,2 (0,2)	1,0 (0,2)	3,5 (0,7)	2,8 (0,4)	1,9 (0,3)	3,7 (0,8)
MSG	1,5 (0,6)	0,7 (0,2)	2,2 (0,6)	0,9 (0,2)	0,3 (0,06)	1,5 (0,4)	2,1 (0,4)	1,1 (0,2)	3,0 (0,7)
MSD/MSG	1,6	2	1,6	**2,4**	3,3	2,3	**1,3**	1,7	1,2

Abréviations utilisées : 2MS=les 2 membres supérieurs ; 2MI=les 2 membres inférieurs ; 2AvB=les 2 avant-bras; AvBD=avant-bras droit ; AvBG=avant-bras gauche ; MSD=membre supérieur droit ; MSG=membre supérieur gauche ; n est le nombre de mesures réalisées au cours de chaque période ou de chaque fonction.

Les résultats du tableau 17 montrent que les désosseurs ont un effort subjectif plus important que les pareurs. Par contre, il est relativement symétrique pour les désosseurs alors que les pareurs ont une activité du membre supérieur droit significativement plus élevée que celle du membre supérieur gauche ($p<0,05$). Ainsi, le rapport MSD/MSG de l'effort perçu est pour les désosseurs et pareurs respectivement de 1,3 (0,4) et 2,4 (0,2) avec les erreurs-types entre parenthèses. Cette différence de rapport s'atténue dans l'après-midi versus le matin, les CR10 des 2 membres supérieurs se rapprochent donc relativement chez les désosseurs et les pareurs.
Le CR10 augmente significativement ($p<0,05$) entre le matin et l'après-midi. Il est le plus élevé à l'avant-bras dominant (AvBD), autant chez les pareurs que les désosseurs.

Tableau 18 : Valeurs moyennes et écart-type entre parenthèses du CR10 aux différentes localisations anatomiques et pour les différents postes (jambon (J), échine (E), poitrine (P) et carré (C)) chez les pareurs et les désosseurs.

	Pareurs				**Désosseurs**			
	J	E	P	C	J	E	P	C
2 MS	0,9 (0,6)	1,1 (0,7)	1,7 (0,9)	**3,1** (1,6)	1,1 (0,4)	**6,5** (1,9)	1,4 (0,6)	1,3 (0,2)
2 épaules	0,9 (0,3)	0,8 (0,5)	1,4 (0,4)	**3,1** (1,5)	0,7 (0,4)	**6,3** (2,5)	0,2 (0,08)	0,7 (0,1)
2 AvB	0,9 (0,5)	1,4 (1,0)	2,0 (1,2)	**3,3** (1,4)	1,4 (0,7)	**6,6** (2,2)	2,6 (0,8)	0,9 (0,3)
AvBD	1,2 (0,7)	1,6 (0,7)	2,7 (1,1)	**3,9** (1,5)	1,5 (0,6)	**7,7** (2,9)	2,2 (0,9)	1,6 (0,5)
AvBG	0,7 (0,2)	1,3 (0,3)	1,4 (0,2)	**2,8** (0,7)	1,3 (0,4)	**5,3** (1,8)	3,0 (0,8)	0
Cou	1,2 (0,2)	0,5 (0,09)	1,5 (0,4)	**4,2** (1,2)	0,2 (0,05)	**4,7** (1,7)	0,3 (0,05)	0,4 (0,07)
Dos	1,2 (0,3)	3,1 (1,3)	0,8 (0,4)	**2,2** (0,8)	1,4 (0,4)	**5,8** (1,1)	2,2 (0,4)	0,8 (0,1)
2 MI	1,2 (0,7)	0,8 (0,6)	1,9 (0,9)	**4,4** (2,1)	0,3 (0,07)	**2,0** (0,7)	0	0,5 (0,02)
MSD	1,2 (0,5)	1,4 (0,8)	2,1 (0,9)	**4,1** (1,1)	1,1 (0,5)	**7,6** (1,9)	1,3 (0,4)	1,3 (0,6)
MSG	0,9 (0,2)	0,6 (0,08)	0,9 0,5)	**1,2** (0,7)	1,0 (0,2)	**5,4** (1,6)	1,6 (0,2)	0,2 (0,03)

5. DISCUSSION

5.1 RAPPEL

La démarche d'évaluation du risque mise en place par l'Union Européenne dès la fin des années 80 est entrée dans une phase d'action par le décret sur l'évaluation du risque qui s'applique dès novembre 2002. Dans le passé, l'arrêté du 15 juin 1993 pris en application de l'article R. 231-69 du Code du travail déterminant les recommandations que les médecins du travail doivent observer en matière d'évaluation des risques et d'organisation des postes de travail comportant le recours à la manutention manuelle de charges stipule que toute augmentation de plus de **trente battements par minute** rapportée à la fréquence cardiaque de repos est un indicateur de charge de travail physique importante. Ce document réglementait le premier outil d'évaluation du risque lié à la charge physique de travail. L'élargissement du domaine de l'évaluation du risque à l'ensemble des risques, connus ou à rechercher, laisse ouvert un domaine d'outils d'évaluation beaucoup plus large. L'avis des salariés et sa quantification à l'aide d'une échelle reconnue enrichit de façon incontournable l'évaluation du risque.

Ce travail veut profiter de cet environnement légal et social de prévention et de protection de la santé au travail pour montrer les qualités et limites des échelles de Borg et leur apport dans cet environnement.

5.2 METHODOLOGIE UTILISEE

5.2.1 Expérience de laboratoire

Un travail statique continu peut être réalisé lors du maintien d'une charge dans une position segmentaire donnée que le sujet doit s'efforcer de maintenir (*108*) ou par traction ou pression sur une jauge de contrainte, ce qui est le cas de cette étude où les sujets devaient maintenir un niveau de force sous-maximale à régime constant. Pour Monod et Flandrois (1997) ces 2 méthodes sont équivalentes dans la mesure où l'action sur les jauges de contraintes utilisées dans cette étude ne provoquait aucun déplacement.

Un certain nombre de données tensionnelles a été perdu à la fin de tests d'endurance tels que ceux sollicitant l'épaule droite. En effet, à l'approche de la fin de l'expérience (période P5), des tremblements liés à l'effort important à ce stade se transmettent du membre supérieur

droit vers le membre supérieur gauche où est posé le brassard du tensiomètre. Ce phénomène gêne l'enregistrement tensionnel et traduit la fatigue musculaire du membre supérieur droit. Cependant, ces aléas métrologiques n'altèrent que partiellement les résultats généraux. En effet, il existe une forte corrélation entre les valeurs extrapolées à partir de la pente de la droite de régression de la pression artérielle en fonction du temps (tableaux 11 et 12). A la lumière de ces observations, l'utilisation d'un tensiomètre classique permet de mettre en évidence l'augmentation de PA en fonction du cours temporel du test d'endurance.

Turpin-Legendre et Meyer (2000) mesurent également la circonférence du bras et l'épaisseur antéro-postérieur du deltoïde. Ils ont trouvé une corrélation entre les valeurs des circonférences de l'avant-bras et du bras:

- pour les femmes ($r = 0,90$, $p < 0,001$) ;
- pour les hommes ($r = 0,69$, $p < 0,001$).

Ils ont donc proposé comme indice anthropométrique pratique en milieu professionnel, la mesure de la circonférence de l'avant-bras. Ils ont également trouvé des corrélations entre certaines FMVi (Pince, Préh et Eep chez les femmes; Eavb et Eep pour les hommes). Ces corrélations leur ont permis de simplifier les différentes batteries de tests proposées (*159*).

5.2.2 Expérience de terrain

D'un point de vue méthodologique, les limites de l'étude de terrain sont de deux ordres:

- La population étudiée, qui se caractérise par un faible nombre de sujets à l'étude, une dizaine d'opérateurs par tâche principale (parage/désossage) et surtout 2 à 3 personnes seulement affectées au travail des différentes pièces (jambon, échine, poitrine et carré). Dans ces conditions, l'effet "sujet" prédomine lors de l'analyse fine des réponses pour le travail des différentes pièces. De plus, l'absence de femmes dans le groupe des désosseurs crée un phénomène d'interférence des paramètres "genre" et "tâche principale ou fonction (parage/désossage)".
- Une autre difficulté pour l'analyse des données est l'irrégularité du travail qui impose aux salariés de quitter momentanément leur poste au cours de la journée pour faire de la manutention ou, comme c'est le cas dans l'après-midi les opérateurs de l'abattage doivent souvent renforcer et/ ou remplacer l'effectif de la zone de découpe. Phénomène courant en situation de travail, le mélange des activités affaiblit l'interprétation des évaluations subjectives de chaque poste de travail.

Ces difficultés de sélection des populations en situation de travail sont généralisables à l'ensemble des méthodes de mesurage de la contrainte ou de l'astreinte de travail. Ce problème existe autant pour les évaluations subjectives qu'objectives.

5.3 INTERPRETATION DES RESULTATS

5.3.1 Résultats de l'expérience en laboratoire

5.3.1.1 Astreintes cardiovasculaires

Les valeurs de fréquence cardiaque mesurées au cours des différents tests ne dépassent pas les valeurs seuils préconisées par l'INRS pour 8 heures de travail. Cette limite est de 105 battements par minutes (bpm) pour les hommes et de 110 bpm pour les femmes. Malgré des durées de tests très courtes (3,4 à 14,8 minutes), les FC moyennes ne dépassent jamais ces limites. De cette observation découle l'intérêt de démarches différentes d'évaluation de la charge de travail comme l'évaluation subjective. Dans toutes les conditions de test, le CR10 était pratiquement à 10 au terme du test et, son évolution permettait de prévoir la durée du test (tableau 14 ; fig. 8).

Ces résultats posent aussi la question des limites de FC dans le cas d'un travail local. En effet, la multiplication des grilles de lecture des FC ne fait que compliquer le choix du praticien de terrain. Mais les limites qu'elles proposent ne s'appliquent qu'à un travail général. Peut être est-il possible de définir des seuils pour des travaux qui n'impliquent qu'un bras ?

Par rapport aux valeurs des coûts cardiaques absolus (CCA) définissant un poste de travail pénible préconisées par Meyer (1983), seuls certains tests chez les sujets hommes répondent à cette définition. On constate que l'exercice d'extension de l'épaule induit le dFC le plus élevé (36 bpm). Les exercices (Favb, Aep et Eep) sont donc contraignants pour l'organisme des sujets hommes en causant des astreintes cardiovasculaires élevées si elles sont mises en parallèle à leur relative courte durée, soit de 3,4 à 8,2 minutes. Le test Eep est celui qui induit le dFC le plus élevé chez les 30 sujets.

Dans ces tests d'endurance, menées jusqu'à épuisement, les valeurs de FCC sont bien en deçà de celles préconisées (INRS) ; soit 150 bpm chez les hommes et 130 bpm pour les femmes. A part le test Eep chez les sujets hommes, les FCC moyennes pour les autres tests autant chez les sujets homme que femme n'atteignent pas la valeur de 100 bpm, valeur

habituellement retenue à partir de laquelle les variations des fréquences cardiaques sont "effort-dépendantes".

Le coût cardiaque comparé à l'accélération cardiaque au cours d'un effort, c'est-à-dire l'indice delta FC défini par Frimat et al. (1989), entraînerait un jugement de "pénibilité notable" pour les sujets femmes à l'ensemble des tests et aux tests (Pince, Préh, Eavb et Fep) pour les sujets hommes contre un jugement de "pénibilité excessive" par les sujets hommes pour les 3 exercices restants (Favb, Aep et Eep). Cet indice delta FC est d'ailleurs préconisé pour l'appréciation de la pénibilité des postes de travail comportant des efforts violents contrastant avec de longues phases d'activité physique réduite.

En définitive, le dFC se rapprocherait le plus du CCA max précédemment défini. Bien que les valeurs de "CCR max" soient modérées et bien en deçà des 50 % des CCR99 de Meunier (*97, 98*), elles peuvent néanmoins dans certains cas révéler une pénibilité ressentie importante par les sujets pour certains tests. Les exercices d'extension de l'épaule chez les sujets hommes par exemple, ont un "CCR max" de 26,6 % (20,8 % pour les femmes) alors que les durées d'endurance sont très brèves (tableaux 9 et 13). Cette différence de CCR max pourrait expliquer la différence statistiquement significative ($p < 0,05$) des durées totales des tests observés, respectivement de 7,7 et 14,8 minutes entre les hommes et les femmes (tableau 9).

Un des résultats surprenant de cette étude est que les pressions artérielles relevées à la fin des tests d'endurance varient peu globalement d'un test à l'autre. Pourtant les groupes musculaires testés au cours des 7 différents exercices sont variés tant au niveau qualitatif (fonctionnalité) que quantitatif (puissance et donc masse musculaire sollicitée variable en fonction du type d'exercice). Le fait que les tests d'endurance de pince digitale et de préhension palmaire causent les plus fortes astreintes au niveau tensionnel n'est pas surprenant si on se réfère aux travaux de Mitchell et al. (1981) (*7*). Ces auteurs avaient ainsi montré que le réflexe vasopresseur était dépendant du pourcentage de force musculaire relative mise en jeu et non pas de la valeur absolue de la masse musculaire sollicitée. L'augmentation différentielle des valeurs tensionnelles est plus marquée pour les valeurs diastoliques que systoliques. Lind et al. (1967) (*7*) ont également constaté une augmentation marquée des valeurs tensionnelles diastoliques lors des exercices statiques à 30 % de la FMVi, phénomène non retrouvé lors des exercices dynamiques. Graves et al. (1998) ont également trouvé des résultats voisins.

Les résultats de cette étude en laboratoire retrouvent également un coût tensionnel plus important au niveau diastolique, autant chez les femmes (2,4 cm Hg versus 2,2) que les hommes (3,3 cm Hg versus 2,9) (Voir le tableau 10).

Le tableau 12 permet également de classer les 7 tests de la batterie en 2 groupes en fonction de la pente d'accroissement tensionnel et de la durée du test, et donc 2 groupes avec des astreintes tensionnelles différentes. Les astreintes tensionnelles sont plus importantes pour les exercices mobilisant les 2 extrémités du membre supérieur dominant (sauf l'Eep qui est moins astreignante au niveau tensionnel) en référence au choix de la méthodologie utilisée.

Les astreintes cardiovasculaires induites au cours des différents tests d'endurance restent modérées globalement et ne dépassent des seuils au niveau du coût cardiaque que pour 5 % des tests et au niveau tensionnel que pour 15 % des mesures, ce qui pourrait être un facteur limitant son usage chez une population de travailleurs tout venant. D'après la littérature, les contraintes physiques sollicitant les membres supérieurs induisent des astreintes cardiovasculaires plus marquées au niveau de la fréquence cardiaque (Christensen, 1931, Stenberg et coll. 1967, Vokac et coll. 1975 cités dans réf. *7*), alors que celles s'appliquant aux membres inférieurs provoquent des astreintes cardiovasculaires plus importantes au niveau tensionnel (*64*). Ainsi, selon différents auteurs (Christensen, 1931; Stenberg et al. 1967, Vokac et al. 1975 cités dans réf. *7*), pour une consommation d'oxygène donnée, la fréquence cardiaque est plus élevée si l'exercice est effectuée avec les membres supérieurs qu'avec les membres inférieurs. Tandis que Gonzales-Camarena et al. (2000) ont constaté qu'un exercice statique des membres inférieurs à 30 % de la FMVi chez 10 sujets hommes volontaires sains, provoque des astreintes cardiovasculaires élevées au niveau tensionnel et moindre au niveau de la fréquence cardiaque.

Pour Astrand et Rodahl (1994), le travail musculaire isométrique détermine une surcharge ventriculaire considérable. La pression artérielle aussi bien systolique que diastolique et la fréquence cardiaque augmentent brusquement lors d'un effort isométrique soutenu représentant 15 % de la force maximale volontaire ou plus. Il n'existe pas généralement d'état stationnaire de ces fonctions, mais une augmentation progressive jusqu'à la fin de la contraction.

Enfin, d'après Villiger et al. (1992), durant un exercice musculaire statique, les pressions artérielles systolique et diastolique augmentent dans des proportions bien plus importantes que ne laisse supposer l'accroissement des bilans énergétiques. Par conséquent, l'augmentation parallèle de la fréquence cardiaque est, elle aussi nettement plus faible et ne dépassant guère 120 bpm. Le travail de maintien statique déclenche en périphérie des réactions vasopressives,

à la suite desquelles les pressions artérielles systolique et diastolique atteignent des valeurs maximales en quelques minutes, à partir de 30 % de la FMVi. Cette augmentation de la pression artérielle ne dépend pas de l'importance de la masse musculaire sollicitée mais de l'intensité relative de la sollicitation pour un groupe musculaire. Ainsi, un travail de la main à 50 % de l'intensité maximale possible entraîne au niveau de la pression artérielle des réactions semblables à celles que l'on observe lors d'un travail musculaire des 2 cuisses à 50 % de leur force maximale.

L'ischémie musculaire limite la durée du travail statique continu. A l'inverse, celui-ci peut être poursuivi, à force égale, pendant des temps beaucoup plus longs s'il est intermittent, la circulation sanguine s'effectuant librement pendant les périodes de repos intercalaires. L'élément déterminant est la proportion du temps de travail (p) dans un cycle comprenant une période de travail et une période de repos. En partant du travail statique continu pour lequel p est égal à 100 % par définition, il est possible de suivre l'effet de l'introduction de périodes de repos de durée croissante : 10, 20, 30…et 90 %. Au fur et à mesure que le travail diminue et ne représente plus, inversement, que 90, 80, 70…et 10 % du temps total, la force critique du muscle augmente. Le régime critique maximal du travail statique intermittent peut être défini comme la quantité maximale de travail statique pouvant être réalisée par unité de temps sans fatigue (*108*).

L'intérêt d'élaborer des temps de pause adéquats en relation avec des cycles de travail à forte contrainte physique reste toujours pertinent afin de diminuer les phénomènes de fatigue excessive et leurs risques propres.

Le travail, et la peine qu'il exige, constitue-t-il une malédiction dont il faut toujours et partout chercher à diminuer les effets, ou doit-il être considéré au contraire comme l'activité humaine par excellence, où les efforts sont sources de bénédictions ? Faut-il soulager le travailleur fatigué ou fortifier le travailleur fatigable ? (*107*)
Le travail est une norme sociale, la réponse ne peut donc qu'être nuancée et elle doit être adaptée aux réalités de terrain.

5.3.1.2 Astreintes subjectives

Les résultats montrent une augmentation du CR10 en fonction du temps. Cette croissance peut être représentée par une droite de régression. (Voir les figures 8 et 9, le tableau 15 et l'équation 2)

On constate également l'absence de différence significative ($p>0,15$) entre les hommes et les femmes pour l'évolution du CR10 et de la FC au cours des tests. Dans certaines conditions, ces 2 paramètres sont donc interchangeables, phénomène connu et déjà relaté dans la littérature pour les exercices dynamiques (*12, 116*).

D'après le tableau 14, un CR10 à 10 ne signifie pas la fin des tests puisqu'il restait du temps correspondant en moyenne à 1/6 de la durée totale du test. Il aurait été alors intéressant d'étudier cet épiphénomène avec un CR10 (*13*) comportant le point • ou "dot" en anglais.

Des études de laboratoire ont montré que dans certaines conditions de manutention, une discordance est retrouvée entre les astreintes objectives (coût cardiaque, coût énergétique, biomécanique) et subjectives (RPE et/ou CR10). L'utilisation des seuls critères objectifs de mesure de l'astreinte physiologique ne permet pas la prise en compte de l'ensemble des facteurs induisant la fatigue dans un travail de manutention manuelle (*100*). L'utilisation de la FC comme indicateur d'astreinte cardiovasculaire doit garder sa place comme un des indices objectifs de référence pour évaluer la charge de travail. Cependant Astrand et Rodahl (*7*) citant Malmquist et al. (1981) retenaient que : "Alors que la consommation d'O_2 et la FC peuvent être utilisées pour évaluer l'amplitude de travail musculaire en général, ces paramètres ne sont pas valables pour évaluer des charges musculaires localisées"; et citant Hanson et Jones (1970) ils concluaient que : "Dans certaines conditions cependant, l'enregistrement de la FC s'avère un indice très sensible de la force musculaire mobilisée et peut même répondre de façon significative à des changements mineurs de posture".

C'est pourquoi il est important de développer d'autres outils de mesure pour évaluer les situations de travail avec contrainte locale prédominante. Les alternatives au recueil de la FC existent donc et comportent aussi leurs intérêts et limites pour l'évaluation objective (biomécanique, EMG, PA), subjective (RPE et/ou CR10) et psychophysique des contraintes physiques et mentales en milieu professionnel.

Ces méthodes alternatives présentent l'intérêt pour certaines d'entre elles de faciliter l'évaluation de l'astreinte de manutentions manuelles de charges lourdes, réalisées de façon isolée ou rare et/ou au cours de périodes brèves ou, au contraire, des manutentions de charges légères au poste de travail. Une évaluation subjective permettra de quantifier un niveau de pénibilité représentatif de la tâche analysée (*100*). L'intérêt d'une méthode subjective est d'explorer la perception du salarié de son travail dans un cadre multidimensionnel et d'évaluer le résultat de ces interactions spatio-temporelles souvent complexes et de suivre son évolution au cours du temps.

Noble et Robertson (1996) ont fait un inventaire assez exhaustif des méthodes d'évaluation subjective disponibles. Les échelles de Borg en sont un des exemples. Son utilisation en situation de laboratoire dans un cadre de recherche s'applique depuis 4 décennies dans les pays scandinaves pour s'étendre progressivement depuis les années 1970 aux pays anglosaxons et aux pays latins dont la France depuis presque 20 ans. Son utilisation en milieu professionnel se développe bien dans les pays nordiques et anglosaxons et notamment dans les milieux sportifs et dans certains métiers à forte contrainte physique. Son application dans les milieux de soins est prometteur, notamment dans les services de réadaptation fonctionnelle autant cardiorespiratoire que locomotrice.

A l'image de l'échelle visuelle analogique, utilisée de façon routinière pour explorer le champ de la douleur, nul doute que les échelles de Borg, notamment l'échelle de classement par catégorie (CR10) pourra compléter cet arsenal d'outils d'évaluation de la perception par l'individu des contraintes de son environnement ambiant.

Ces échelles pourront être utilisées aussi comme un outil de dépistage précoce de certaines conséquences (telles que les pathologies ostéoarticulaires et donc les T.M.S.) potentiellement néfastes pour la santé au travail des salariés à cause de certains types d'organisation professionnelle de production.

5.3.2 Résultats de l'expérience de terrain

- Désosseurs

Il est en général admis d'après l'avis de certains salariés expérimentés (tâcherons) que le poste de désossage du jambon est un poste très dur physiquement avec de fortes contraintes musculaires et ostéo-articulaires. Or les 2 opérateurs à ce poste évaluent l'intensité de leur charge physique de très légère à légère. Il se trouve que l'un des 2 opérateurs est un ancien tâcheron avec 11 ans d'expérience ce qui expliquerait en grande partie ce score surprenant du CR10.

Tandis que dans la chaîne de production voisine, au poste de désossage des pièces d'échine apparemment un peu moins pénible, le score CR10 moyen est très élevé car les 2 opérateurs concernés jugent leur charge de travail d'intensité dure à très dure sur l'ensemble des 7 zones du corps ciblées par le questionnaire.

- Pareurs

C'est d'abord le poste de parage des pièces carrées qui est jugé de léger à un peu dur par ses 2 opératrices, poste où la cadence de production est variable. Elle est ainsi accélérée lors de la préparation de pièces de carré "japonais", difficulté majorée par de la MMC associée et potentialisée par une petite taille relative (1,60m) d'une des 2 opératrices.

5.4 VALIDITE DES ECHELLES DE BORG

Les échelles de Borg ont été largement validées, d'abord en laboratoire puis progressivement en milieu professionnel, de réadaptation fonctionnelle et sportif (*11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 100, 101, 116*).

Son utilisation en milieu de soins va continuer à se développer à l'instar de son prédécesseur, l'EVA, dont l'utilisation tend à devenir la norme, notamment dans l'évaluation de la symptomatologie douloureuse (*4*).

Le protocole utilisé lors du recueil des astreintes subjectives par l'échelle de Borg CR10 est validée tant en laboratoire que sur le terrain (*12, 13, 116*). Appliquées en laboratoire, les échelles de Borg pourront être utilisées comme une méthode psychophysique afin de définir par exemple des limites de poids de charges admissibles dans différentes conditions de manutention. Les applications de ce type de recherche ont servi de base à des normes nationales (NF X 35-109-avril 1989: limites acceptables de port manuel de charges par une personne), européennes (PrEN 1005-safety of machinery. Human physical performance. Part 5 : risk assesment for repetitive handling at high frequency) ou américaines (Equation révisée du NIOSH ou National Institute for Occupational Safety and Health qui développe un modèle d'évaluation et d'analyse du lever de charges 2 mains).

L'ISO (Organisation internationale de normalisation ou encore International for Standardization Organisation) est une fédération mondiale d'organismes nationaux de normalisation (comités membres de l'ISO). L'ISO dans une de ses normes (ISO 6385, 1981) a recommandé que des efforts devraient se poursuivre pour améliorer les tâches et les conditions de travail des femmes et des hommes notamment par des évaluations objectives et subjectives des situations de travail.

Une version française (annexe 1) de l'échelle de Borg CR10 (1982) a été utilisée afin de faciliter son utilisation auprès des opérateurs d'horizons variés et de favoriser sa diffusion

en milieu professionnel (*100*). L'utilisation de la dernière version du CR10 (*12*) semble peu pertinente pour évaluer des niveaux d'effort extrêmement faibles (valeurs numériques "0,3 et 0,5"), réalité qui peut se rencontrer en situation de travail, d'autres outils validés paraissant plus adéquats. La complexité relative de cette dernière version pourrait déstabiliser certains sujets et freiner son utilisation pour des salariés tout venant.

L'évolution de l'effort perçu en fonction du temps sur un effort continu, statique et exhaustif, correspond physiologiquement à de la fatigue. Autant l'évolution de l'effort perçu répond à une fonction croissante exponentielle de puissance 1,6 ou 1,7 environ (*12*), autant l'évolution de la fatigue au cours du temps est plus complexe avec une implication variable des facteurs psychologiques.

Il arrive que la fatigue survienne sans exercice physique quelconque. Un exercice à une puissance donnée peut être perçu comme plus dur aujourd'hui qu'hier. L'exercice sollicite non seulement le système neuromusculaire mais aussi les systèmes circulatoire et respiratoire. La fatigue au cours du travail statique produit une sensation d'inconfort, voire même parfois de douleur. L'aptitude à surmonter l'impression de fatigue change d'un sujet à l'autre. Les sujets désireux de coopérer ou bien motivés peuvent soutenir une contraction musculaire jusqu'à la survenue de la fatigue, alors que d'autres cessent l'exercice bien avant ce stade. Pendant des années, les physiologistes ont débattu sur l'origine de la fatigue. Cette origine a été attribué à une diminution des influx excitateurs centraux, une absence de conduction dans les fibres nerveuses, une extinction de la transmission neuromusculaire et une diminution de la force contractile. L'accumulation de l'acide lactique est un des candidats possibles et classiques de la réduction de la performance des muscles squelettiques et de la fatigue. Aussi bien au cours du travail statique que dynamique, l'endurance est inversement fonction de la tension soutenue, exprimée en pour cent de la tension maximale que peut développer le muscle. Ainsi, lors de la contraction musculaire isométrique, il n'est possible de soutenir que pendant une seule minute 50 % de la tension maximale (*7*).

Astrand et Rodahl (1994) citent Hagberg (1981) qui a observé une diminution rapide du temps d'endurance à des niveaux de contraction supérieurs à 15 ou à 20 % de la contraction maximale volontaire aussi bien pour des exercices isométriques que dynamiques soutenues impliquant des flexions de coude.

Devant cette complexité, nous avons volontairement opté pour une approche simple de l'évolution de "l'effort perçu" mesuré chez les 30 sujets.

La relation linéaire paraît répondre à ces exigences et semble être assez satisfaisante.

Cependant, d'autres modèles mathématiques pour traduire deux réalités physiologiques (l'ordonnée à l'origine et l'incurvation de la courbe lorsque le CR10 atteint 10) existent, et notamment la courbe en " *S* ", débutant par une courte portion quasi-horizontale puis continuant par une portion ascendante principale pour se terminer par une portion qui suit une direction horizontale asymptotique.

5.5 INTERETS ET MISE EN PRATIQUE

5.5.1 Généralités

C'est une méthode simple, peu coûteuse, rapide, répétable et acceptable par le salarié, et permettant une évaluation subjective de la charge de travail des salariés en situation réelle au poste.

C'est une méthode sensible car elle permet notamment d'apprécier la perception par un ou plusieurs salariés de la variation de la cadence d'une ligne de production en temps réel, son ou leur état de santé dans sa globalité, tant local ou général.

L'enregistrement vidéo permet des analyses fines de certaines phases de travail à distance du moment du recueil des données et permet ainsi d'apprécier les principaux aspects des contraintes de la tâche. L'utilisation de méthodes classiques pour évaluer la charge de travail telles que la cardiofréquencemétrie voire l'EMG paraît peu pratique, difficilement tolérable pour l'opérateur car peu confortable et donc peu acceptée en milieu de travail à fortes contraintes physiques multiples (froid, port d'équipement de protection individuelle lourde, manutention manuelle de charge lourde, gestes répétitifs et fortes contraintes temporelles notamment).

L'intérêt est donc d'associer l'utilisation des échelles de Borg en général et du CR10 en particulier dans cette étude à un enregistrement vidéo pour mieux appréhender les contraintes de certains milieux professionnels.

En résumé, les intérêts des échelles de Borg sont :

- simples, elles peuvent être un "signal d'alarme" ;
- grande sensibilité et spécificité variable ;
- validées et reproductibles ;
- acceptables car non invasives ;
- peu coûteuses ;
- rapides, leur utilisation peut être systématique ;
- répétées et/ou continus dans le temps ;
- sélectives, applicables à différentes localisations ou astreintes ;
- collective pour l'utilisation en situation de travail ou individuelle pour la réadaptation ou l'adaptation de l'effort ;

- ***leur rôle dans l'évaluation du risque et la prévention.***

5.5.2 CR10 et réponse collective

Lorsque l'on retrouve un CR10 > 4 chez la majorité des salariés étudiés, il conviendrait de rechercher rapidement et de traiter les causes inhérentes à ces évaluations qui ont une valeur de signal d'alarme. C'est un indicateur "d'ambiance", pouvant être :
- le reflet d'une augmentation de la cadence de production,
- une augmentation des contraintes musculaires et ostéo-articulaires due à un mauvais affûtage des couteaux par un opérateur pas ou peu formé à la tâche,
- ou tout simplement due à une "rotation" des couteaux ou d'autres matériels de production…

Dans les autres cas où le CR10 n'est pas nul, des améliorations des conditions de travail sont toujours à envisager mais plutôt dans une perspective à moyen ou à long terme.

Dans notre étude, malgré le biais lié au fait de l'absence de femmes dans le groupe de désosseurs, la fonction de désossage est apparue plus difficile avec une perception de la charge physique de travail, d'intensité modérée au MSD et à l'avant-bras droit (tab. 17).

Chez les opérateurs, l'augmentation du CR10 au cours de la journée de travail est significative malgré les 2 pauses de 20 minutes en milieu de matinée et de l'après-midi et la pause du déjeuner de 45 minutes. Ceci pourrait traduire une accumulation de fatigue au long cours. Les salariées femmes semblent moins supporter le travail en position debout (Cf. CR10 des MI). Les pareurs semblent utiliser plus préférentiellement leur membre supérieur dominant pour exécuter la tâche contrairement aux désosseurs qui répartiraient mieux les

contraintes aux 2 M.S (Cf. CR10 de MSD/MSG). L'augmentation du CR10 est néanmoins modérée, sa variation pourrait traduire la variabilité de la cadence de production d'une entreprise travaillant à "flux tendu" avec ses impératifs économiques.

5.5.3 CR10 et réponse individuelle

Un CR10 élevé et isolé, peut être l'occasion pour un salarié de présenter ses doléances plus ou moins masquées, telles qu'un souci de santé (début d'un TMS local…), ou une incapacité à suivre correctement la cadence imposée de sa ligne de production (insuffisance de formation à la tâche occupée, inadéquation de l'interface individu-poste…), ou encore la pénibilité du travail majorée par la station debout prolongée et la manutention manuelle de charges lourdes associées à certains postes.

6 SYNTHESE

6.1 ETUDE EN LABORATOIRE

Les astreintes cardiovasculaires mesurées au cours des études publiées dans la littérature prennent en compte dans la mesure du possible de nombreux paramètres (âge, stress, température, charge sensorielle ou psycho-affective, digestion, ambiance sonore, etc.) avant toute interprétation car elles ne sont pas seulement la résultante d'une simple contrainte tel que le travail musculaire (*7, 53, 97, 98, 99, 100, 101, 108, 109*).

Dans cette étude en laboratoire, il est aisé de contrôler un certain nombre de contraintes physiques dans le but d'obtenir des résultats relativement fiables des astreintes cardiovasculaires d'une série d'exercices musculaires statiques loco-régionaux à régime sous-maximal exhaustif du membre supérieur dominant.

L'usage de ces tests fonctionnels des membres supérieurs à une population de salarié(e)s ne devrait être proposé qu'avec une surveillance concomitante des astreintes induites telles que la fréquence cardiaque voire la pression artérielle. En dépit des astreintes cardiovasculaires modérément importantes relevées chez des sujets jeunes et en bonne condition physique, la prudence doit donc être de mise concernant une application éventuelle de cette batterie de tests chez une population de salarié(e)s plus âgée et sédentaire. Les astreintes cardiovasculaires tensionnelles les plus élevées sont observées au cours d'exercices

mobilisant une masse musculaire relativement peu importante (préhension palmaire) et un pourcentage de force musculaire mis en jeu modérément important. Pour la composition des batteries de tests, la valeur-seuil de 30 % des FMVi semble être une valeur à ne pas dépasser au cours des exercices musculaires mobilisant des groupes musculaires même modestes par leur taille.

Turpin-Legendre et Meyer (2000) ont utilisé certains de ces tests combinés dans une batterie de tests d'une durée d'environ 28 minutes en situation de travail. Ils les proposent comme un outil de dépistage pour les médecins du travail dans le cadre du suivi médical des salariés et pour détecter des baisses précoces des capacités fonctionnelles du membre supérieur. Celles-ci peuvent être considérées comme des indices précoces de troubles musculo-squelettiques ou liées à l'âge.

L'association des mesures des indices objectives cardiovasculaires et subjectives (RPE et/ou CR10) paraît indispensable pour une meilleure compréhension des interactions complexes et multidimensionnelles entre l'Homme et son milieu environnant.

Les résultats montrent une croissance linéaire en fonction du temps des astreintes cardiovasculaires (FC et PA) et des astreintes subjectives (CR10). L'analyse statistique constate un effet test mais pas d'effet genre pour les paramètres FC et CR10. En revanche, les tensions artérielles sont significativement différentes selon les tests et en fonction du genre. Cette différence est d'autant plus surprenante que les FMV relatives appliquées par les femmes et les hommes sont comparables.

Ces résultats confirment la forte corrélation entre FC et CR10 déjà constatée dans de multiples études sur ergocycle et/ou tapis roulant (*12, 116*). L'originalité est que cette étude en laboratoire concernait une batterie de tests endurants statiques exhaustifs du membre supérieur dominant.

6.2 ETUDE EN SITUATION REELLE DE TRAVAIL

Les résultats de l'application en situation de travail de l'évaluation subjective montrent une différence de pénibilité perçue (CR10 moyen) ($p<0,05$) en fonction :

- de la nature du travail (parage/désossage) (tableau 17)

(CR10 au niveau des AvB/MS : désossage (=2,8/2,5) > parage (=2,0/1,8) ;

- du moment de la journée (tableau 17)

(CR10 des 2MS/2AvB : après-midi (=2,1/2,4) > matin (=1,4/1,3) pour les pareurs) ;

- de la nature de la pièce de quartier de viande concernée (tableau 18)

(jambon, échine, poitrine ou carré)

- pour les pareurs, c'est le travail de la pièce de carré qui est le plus pénible ;
- pour les désosseurs, c'est plutôt la pièce d'échine qui est mise en cause.

Il faut rappeler que les femmes ne sont présentes que dans le groupe des pareurs, l'analyse de l'effet ”genre” dans ces conditions montre une différence de charge de travail ressentie au niveau du MSD, au niveau du cou, du dos et des MI. Cette étude a permis de détecter des associations ”poste-sujet à risque”. Par exemple, les postes de parage des pièces de ”carré” et de déssossage des échines sont des postes à risques même pour cette population jeune et, a priori, en bonne condition physique. Mais du fait du faible nombre de sujets analysés, une généralisation à partir de ces premiers résultats est délicate. L'effet ”travailleur sain” est une autre donnée à ne pas négliger dans cette ”filière viande”.

L'échelle de Borg est un test sensible, peu coûteux, de réalisation simple, rapide, répétable et acceptable par le salarié et par l'entreprise. En effet, son utilisation ne perturbe pas la production et permet le recueil de données "vives" en temps réel concernant la perception de l'intensité de la charge de travail imposée aux salariés. Cependant, dans une perspective d'avenir, cette étude en appelle d'autres, sur le même groupe de salariés après aménagement éventuel de certains postes, et elle pourrait surtout être étendue par la suite à d'autres groupes de salariés de l'entreprise. Les limites dues au faible nombre de sujets pourraient ainsi être réduites et les données subjectives utilisées comme outil de validation des mesures de prévention. L'association de l'utilisation du CR10 et d'un enregistrement vidéo lors de cette étude semble intéressante lorsque les conditions ambiantes ne favorisent pas l'utilisation de méthodes classiques d'évaluation de la charge de travail.

6.3 PERSPECTIVES

Ces 2 études évaluent ponctuellement la perception de l'effort ressenti par les sujets au cours des tests en laboratoire et en milieu professionnel dans un abattoir. Cette évaluation devient de fait une appréciation de la fatigue ressentie au cours du déroulement des tests en laboratoire voire aussi en abattoir. L'enjeu sera alors d'atténuer son importance en agissant sur les causes afin de diminuer ses effets. Les échelles de Borg peuvent être un outil complémentaire et original aux moyens déjà bien connus et validés (FC, EMG, VO_2 par

exemple) dans le cadre des études ergonomiques de la charge de travail. L'association de l'étude des astreintes subjectives (les échelles de Borg RPE et/ou CR10) associées à celle des astreintes physiologiques est une démarche intéressante dans le cadre d'une approche ergonomique plus globale pour évaluer les charges physiques de travail pesant sur les salariés et perçues par lui.

Les échelles de Borg ont été validées chez de nombreux sportifs et pour différentes pratiques (vélo et course à pied en particulier) et pour certaines catégories professionnelles où une bonne condition physique est requise (forestiers, charpentiers, menuisiers, policiers, pompiers notamment). Son application routinière en première intention au salarié tout venant est un véritable challenge vis-à-vis de nos pratiques habituelles de préventeur. L'importance n'est pas de connaître la valeur absolue du CR10 et/ou du RPE de tel salarié à tel poste de travail mais plutôt son écart en comparaison à sa propre valeur et/ou à celle d'une même population de référence. Cette valeur d'astreinte subjective joue alors un rôle d'indicateur de santé au travail inestimable. Ce qui est vrai à l'échelle individuelle pourra aussi être applicable au niveau collectif.

En tant que préventeurs médicaux de la santé au travail, on sait bien que plus grande est la différence entre le travail prescrit et le travail réel voire du travail dégradé et plus important est le risque de dysfonctionnement du système. En parallèle à ce constat, on pourrait facilement admettre que plus est grand l'écart entre les astreintes physiologiques objectives mesurées et les astreintes subjectives recueillies et plus est grand le risque de survenu de problèmes de souffrance au travail, qu'elle soit d'ordre physique, mentale et/ou sociale.

Les mesures objectives des astreintes physiologiques et des contraintes physiques de la charge de travail ne pourront jamais remplacer le discours du salarié. La verbalisation de certaines de ses difficultés éprouvées au travail peut être facilitée par certains outils de quantification disponibles tels que les échelles de Borg. L'écoute du salarié à travers le recueil de ses astreintes subjectives de la charge de travail est fondamentale dans le cadre des bonnes pratiques de prévention. Ce n'est que dans ces conditions que l'on pourra promouvoir une médecine et une santé au travail de qualité adéquate aux attentes du monde du travail.

Les échelles de Borg évaluent indirectement notre état de santé (physique, mentale voire sociale). En simplifiant le concept, on pourrait dire : ”Dites moi quel est votre CR10 (et/ou RPE) et je saurai peut être si vous allez bien !”

7. CONCLUSION

Les effets délétères pour la santé au travail de certains types d'organisation des tâches en terme de contraintes mentales commencent à être bien connus. Cependant les tâches à fortes contraintes physiques restent encore une réalité dans le monde du travail. Par conséquent, l'intérêt d'une utilisation de méthodes simples et validées afin d'évaluer rapidement les astreintes subjectives des salariés en milieu professionnel se vérifiera sur le terrain.

Les échelles de Borg semblent répondre à ces exigences et c'est également une méthode simple et élégante pour évaluer le bien-être au travail des salariés.

Leur utilisation en milieu de soins tels que les services de réadaptation fonctionnelle cardiorespiratoire et locomotrice, voire dans les milieux sportifs paraît prometteur tout en émettant une réserve de principe quant à leur emploi comme méthode d'évaluation de la douleur (*4*).

Les intérêts et les limites de cette méthode sont qu'elle est une méthode subjective d'évaluation : intérêts parce que les études faites chez les personnes en mauvais état de santé et/ou en mauvaise condition physique retrouvent une réponse plus ou moins dégradée des indices de l'effort perçu (RPE ou CR10) en comparaison à une population de référence ; et des limites parce qu'elle a été d'abord validée en laboratoire et/ou chez des sujets en bonne santé et/ou sportifs.

Dans l'étude en laboratoire, une corrélation forte a été mise en évidence entre les astreintes cardiovasculaires (FC et PA) et l'astreinte subjective CR10 au cours d'une série d'exercices physiques statiques qui peuvent se rencontrer en milieu professionnel.

La seconde étude, effectuée en situation réelle de travail dans un abattoir, confirme l'intérêt de l'utilisation d'une méthode d'évaluation simple et pratique de l'effort perçu. Cette simplicité d'utilisation pourra être facilement exploitable dans des situations professionnelles variées.

Les échelles de Borg deviennent de fait un outil complémentaire aux méthodes objectives dans le cadre des études ergonomiques d'évaluation de la charge physique de travail. Son utilisation en première intention est parfaitement justifiée de par ses caractéristiques.

Les nouvelles normes au travail tiendront de plus en plus compte des astreintes subjectives des salariés pour mieux appréhender certaines réalités complexes du monde du travail moderne et d'en fixer de nouvelles valeurs de référence.

8 BIBLIOGRAPHIE

1. AHSBERG E., GAMBERALE F., KJELLBERG A.
Perceived quality of fatigue during different occupational tasks. Developpement of a questionnaire.
J. Indust. Ergonomics, 1997, 20, 121-135.
2. AHSBERG E., GAMBERALE F., KJELLBERG A.
Perceived quality of fatigue during different occupational tasks.
Advances in Occupational Ergonomics and Safety I, 1996,105-110.
3. AMINOFF T., SMOLANDER J., KORHONEN O., LOUVEHAARA V.
Prediction of acceptable physical work loads based on responses to prolonged arm and leg exercice.
Ergonomics, 1998, vol. 41, n°1,109-120.
4. ANAES
Recommandations pour la prise en charge de la douleur du cancer chez l'adulte en médecine ambulatoire-Guide du praticien (1996).
Concours médical, 1996, suppl. n° 34 (18/10/96).
http://www.anaes.fr
5. ARSTILA M., WENDELIN H.
Comparison of two rating scales in the estimation of perceived exertion in a pulse-conducted exercise test.
Ergonomics, 1974, vol. 17, n° 5, 577-584.
6. ASFOUR S. S., AYOUB M. M., MITAL A., BETHEA N. J.
Perceived exertion of physical effort for various manual handling tasks.
Am. Ind. Hyg. Assoc. J., 1983, 44, 223-228.
7. ASTRAND P.-O., RODAHL K.
Précis de physiologie de l' exercice musculaire-(3ème édition).
Paris: Masson, 1994.- 1 vol., 530 pages.
8. BASSEY E.J.
Longitudinal changes in selected physical capabilities: muscle strength, flexibility and body size.
Age and Ageing, 1998, 27, S3, 12-16.
9. BERGH U., DAVIDSON U., WENNBERG L., SJODIN B.
Blood lactate and perceived exertion during heat stress.
Acta Physiol. Scand., 1986, 126, 617-618.
10. BERRY M. J., WEYRICH A. S., ROBERGS R. A., KRAUSE K. M., INGALLS C. P.
Ratings of perceived exertion in individuals with varying fitness levels during walking and running.
Eur. J. Appl. Physiol., 1989, 58, 494-499.
11. BORG G.
Borg's range model and scales.
Int. J. Sport Psychol., 2001, 32, 110-126.
12. BORG G.
Borg's perceived exertion and pain scales.
USA, Human Kinetics, 1998.- 1 vol., 112 p.
13. BORG G.
Psychophysical scaling with applications in physical work and the perception of exertion.
Scand. J. Work Environ. Health, 1990, 16 (suppl. 1), 55-58.
14. BORG G.
Psychophysical bases of perceived exertion.
Med. Sci. Sports Exerc., 1982, vol. 14, n° 5, 377-381.
15. BORG G.
Aspects subjectifs de la charge physique et mentale.
Le Travail Humain, 1977, tome 40, n° 2, 225-232.
16. BORG G.
Perceived exertion as an indicator of somatic stress.
Scand. J. Rehab. Med., 1970, 2-3, 92-98.
17. BORG G.
Physical Performance and Perceived Exertion. 64 p.
Th.: Psychologie (Studia Psychologica and Paedagogica, Series altera, Investigations XI): Stockholm.
Thesis, Gleerups, Lund, 1962.
18. BORG G., HASSMEN P., LAGERSTROM M.
Perceived exertion related to heart rate and blood lactate during arm and leg exercice.
Eur. J. Appl. Physiol., 1987, 65, 679-685.

19. BORG G., LJUNGGREN G., CECI R.
The increase of perceived exertion, aches and pain in the legs, heart rate and blood lactate during exercise on a bicycle ergometer.
Eur. J. Appl. Physiol., 1985, 54, 343-349.
20. BREWER B. W., MANOS T. M., McDEVITT A. V., CORNELIUS A. E., VAN RAALTE J. L.
The effect of adding lower intensity work on perceived aversiveness of exercise.
J. Sport Exerc. Psychol., 2000, 22, 119-130.
21. BROWN S. P., CHITWOOD L. F., BEASON K. R., McLEMORE D. R.
Perceptual responses to deep water running and treadmill exercise.
Percept. Motor Skills, 1996, 83, 131-139.
22. CAMERON J. A.
Assessing work-related body-part discomfort: current strategies and a behaviorally oriented assessment tool.
Int. J. Indust. Ergonomics, 1996, 18, 389-398.
23. CAPODAGLIO E. M.
Comparison between the CR10 Borg's scale and the VAS (Visual Analogue Scale) during an arm-cranking exercise.
J. Occup. Rehab., 2001, vol. 11, n° 2, 69-74.
24. CAPODAGLIO P., CAPODAGLIO E. M., BAZZINI G.
Tolerability to prolonged lifting tasks assessed by subjective perception and physiological responses.
Ergonomics, 1995, vol. 38, n° 10, 2118-2128.
25. CECI R., HASSMEN P.
Self-monitored exercise at three different RPE intensities in treadmill vs field running.
Med. Sci. Sports Exerc., 1991, vol. 23, n° 6, 732-738.
26. CHAMOUX A.
Les appareils de mesure de la fréquence cardiaque au travail: performances et critères de choix.
Revue de Médecine du Travail, 1990, tome XVII, numéro 2, 65-69.
27. CHAN R. F. M., CHOW C-Y, LEE G.P.S., TO L-K, TSANG X. Y. S., YEUNG S. S., YEUNG E. W.
Self-perceived exertion level and objedctive evaluation of neuromuscular fatigue in a training session of orchestral violin players.
Appl. Ergonomics, 2000, 31, 335-341.
28. CHRISTENSEN E.H.
Beitrage zur Physiologie schwerer korperlicher Arbeit. Minutenvolumen und Schlagvolumen des Herzens wahrend schwerer korperlicher Arbeit. Arbeits Physiol., 1931, 4, 453-470. In :Astrand P-O, Rodahl K. Précis de physiologie de l'exercice musculaire (3 ème édition).
Paris : Masson, 1994, 131-132.
29. CNAMTS
Statistiques financières et technologiques des accidents du travail.
Direction des Risques Professionnels, Années 1987-1997, Paris.
30. COURY H. J. C. G., KUMAR S., RODGHER S., NARAYAN Y.
Measurements of shoulder adduction strenght in different postures.
Int. J. Indust. Ergonomics, 1998, 22, 195-206.
31. CROSBY C.A., WEHBE M.A.
Hand strength: Normative values.
J. of Hand Surg., 1994, 19A, 665-670.
32. DARES
Ministère du travail et de la formation permanente. Conditions, organisation du travail et des nouvelles technologies en 1991.
Dossiers statistiques de Travail et de l'Emploi (DSTE), 1993, 90-92, 1-327.
33. DEDERING A., ROOS af HJELMSATER M., ELFVING B., HARMS-RINGDAHL K., NEMETH G.
Between-days reliability of subjective and objective assesments of back extensor muscle fatigue in subjects without lower-back pain.
J. Electromyo. Kinesiol., 2000, 10, 151-158.
34. DEDERING A., NEMETH G., HARMS-RINGDAHL K.
Correlation between electromyographic spectral changes and subjective assesment of lumbar muscle fatigue in subjects without pain from the lower back.
Clin. Biomechanics, 1999, 14, 103-111.
35. DEEB J. M.
Muscular fatigue and its effect on weight perception.
Int. J. Ind. ergonomics, 1999, 24, 223-233.

36. DIMOV M., BHATTACHARYA A., LEMASTERS G., ATTERBURY M., GREATHOUSE L., OLLILA-GLENN N.
Exertion and body discomfort perceived symptoms associated with carpentry tasks: an on-site evaluation.
AIHAJ, 2000, 61, 685-691.
37. DISHMAN R. K.
Prescribing exercise intensity for healthy adults using perceived exertion.
Med. Sci. Sports Exerc., 1994, vol. 26, n° 9, 1087-1094.
38. DISHMAN R. K., GRAHAM R. E., BUCKWORTH J., WHITE-WELKLEY J.
Perceived exertion during incremental cycling is not influenced by the type A behavior pattern.
Int. J. Sport Med., 2001, 22, 209-214.
39. DISHMAN R. K., FARQUHAR R. P., CURETON K. J.
Responses to preferred intensities of exertion in men differing in activity levels.
Med. Sci. Sports Exerc., 1994, vol. 26, n° 6, 783-790.
40. DOHERTY M., SMITH P. M., HUGHES G., COLLINS D.
Rating of perceived exertion during high-intensity treadmill running.
Med. Sci. Sports Exerc., 2001, 1953-1958.
41. DUNBAR C. C., BURSZTYN D. A.
The slope method for prescribing exercise with ratings of perceived exertion.
Percept. Motor Skills, 1996, 83, 91-97.
42. DUNBAR C. C., KALINSKI M. I., ROBERTSON R. J.
A new method for prescribing exercise: three-point ratings of perceived exertion.
Percept. Motor Skills, 1996, 82, 139-146.
43. DUNBAR C. C., GORIS C., MICHIELLI D. W., KALINSKI M. I.
Accuracy and reproducibility of an exercise prescription based on ratings of perceived exertion for treadmill and cycle ergometer exercise.
Percept. Motor Skills, 1994, 78, 1335-1344.
44. DUNBAR C. C., ROBERTSON R. J., BAUN R., BLANDIN M. F., METZ K., BURDETT R., GOSS F. L.
The validity of regulating exercise intensity by ratings of perceived exertion.
Med. Sci. Sports Exerc., 1992, vol. 24, n° 1, 94-99.
45. EKBLOM B., GOLDBARG A.N.
The influence of physical training and others factors on the subjective Ratings of Perceived Exertion.
Acta Physiol. Scand., 1971, 83, 399-406.
46. ELERT J., STERNER Y., NYBERG V., GERDLE B.
Lack of gender differences in the ability to relax between repetitive maximum isokinetic shoulder forward flexions: a population-based study among northern Swedes.
Eur. J. Appl. Physiol., 2000, 83, 246-256.
47. ELFVING B., NEMETH G., ARVIDSSON I.
Back muscle fatigue in healthy men and women studied by electromyography spectral parameters and subjective ratings.
Scand. J. Rehab. Med., 2000, 32, 117-123.
48. ESTON R. G., THOMPSON M.
Use of ratings of perceived exertion for predicting maximal work rate and prescribing exercise intensity in patients taking atenolol.
Br. J. Sports Med., 1997, vol. 31, n° 2, 114-119.
49. ESTON R., CONNOLL D.
The use of ratings of perception for exercise prescription in patients receiving beta-blockers therapy.
Sport Med., 1996, Mar, 21, 3, 176-190.
50. ESTON R.G., DAVIES B.L., WILLIAMS J.G.,
Use of perceived effort ratings to control exercise intensity in young healthy adults.
Eur. J. Appl. Physiol., 1987, 56, 222-224.
51. FOUNOONI-FARD H., MITAL A.
A psychophysiological study of high and very high frequency manual materials handling: part I - Lifting and lowering.
Int. J. Ind. Ergonomics, 1993, 12, 127-141.
52. FRANKE W. D., BOETTGER C. F., McLEAN S. P.
Effects of varying central command and muscle mass on the cardiovascular responses to isometric exercise.
Clin. Physiol., 2000, 20, 5, 380-387.
53. FRIMAT P., CHAMOUX A., De GAUDEMARIS R., CANTINEAU A., AMPHOUX M. Fréquence cardiaque et travail. Quelle utilisation ? Quels critères ?
Archives des maladies professionnelles et de médecine du travail, 1989, 50, n° 4, 357-360.

54. GAMBERALE F.
Perceived exertion, heart rate, oxygen uptake and blood lactate in different work operations.
Ergonomics, 1972, vol. 15, n° 5, 545-554.
55. GARCIN M., FLEURY A., BILLAT V.
The ratio HLa: RPE as a tool to appreciate overreaching in young high-level middle-distant Runners.
Int. J. Sports Med. 2002, 23, 16-21.
56. GARCIN M., BILLAT V.
Perceived exertion scales attest to both intensity and exercise duration.
Percept. Motor Skills, 2001, 93, 661-671.
57. GARCIN M., PITON A., BRESILLION S., PERES G.
Does perceived exertion depend on glycemic index of foods ingested throughout three hours before a one-hour high-intensity exercise.
Percept. Motor Skills, 2001, 93, 599-608.
58. GARCIN M., VANDEWALLE H., MONOD H.
A new rating scale of perceived exertion based on subjective estimation of exhaustion time: a preliminary study.
Int. J. Sports Med., 1999, 20, 40-43.
59. GARCIN M., VAUTIER J-F, VANDEWALLE H., MONOD H.
Ratings of perceived exertion (RPE) as an index of aerobic endurance during local and general exercises.
Ergonomics, 1998, vol. 41, n° 8, 1105-1114.
60. GARCIN M., VAUTIER J-F, VANDEWALLE H., WOLLF M., MONOD H.
Ratings of perceived exertion (RPE) during cycling exercises at constant power output
Ergonomics, 1998, vol.41, n° 10, 1500-1509.
61. GARG A., BANAAG J.
Maximum acceptable weights, heart rates and RPEs for one hour's repetitive asymmetric lifting.
Ergonomics, 1988, vol. 31, n° 1, 77-96.
62. GARG A., SAXENA U.
Maximum frequency acceptable to female workers one-handed lifts in the horizontal plane.
Ergonomics, 1982, vol. 25, n° 9, 839-853.
63. GLASS S. C., KNOWLTON R. G., BECQUE M. D.
Accuracy of RPE from graded exercise to establish exercise training intensity.
Med. Sci. Sports Exerc., 1992, vol. 24, n° 11, 1303-1307.
64. GONZALES-CAMARENA R., CARRASCO-SOSA S., ROMAN-RAMOS R., GAITAN-GONZALES M.J., MEDINA-BANUELOS V., AZPIROZ-LEEHAN J.
Effect of static and dynamic exercise on heart rate and blood pressure variabilities.
Med. Sci. Sports Exerc., 2000, 1719-1728.
65. GRANT S., McMURRAY J., AITCHISON T., McDONAGH T., CHRISTIE J., DAVIE A., DARGIE H. J.
The reproducibility of symptoms during a submaximal exercise test in chronic heart failure.
Br. J. Clin. Pharmacol, 1998, 45, 287-290.
66. GRAVES J. E., MARTIN A. D., MILTENBERGER L. A., POLLOCK M. L.
Physiological responses to walking with hand weights, wrist weights, and ankle weights.
Med. Sci. Sports Exerc., 1998, vol. 20, n° 3, 265-271.
67. GREEN J. M., MICHAEL T., SOLOMON A. H.
The validity of ratings of perceived exertion for cross-modal regulation of swimming intensity.
J. Sports Med. Phys. Fitness, 1999, 39, 207-212.
68. GROSLAMBERT A., HINTZY F., HOFFMAN M. D., DUGUE B., ROUILLON JD
Validation of a rating scale of perceived exertion in young children.
Int. J. Sport Med., 2001, 22, 116-119.
69. HAGEN K. B., HARMS-RINGDAHL K.
Ratings of perceived thigh and back exertion in forest workers during repetitive lifting using squat and stoop techniques.
SPINE, 1994, vol. 19, n° 22, 2511-2517.
70. HAMILTON A. L., KILLIAN K. J., SUMMERS E., JONES N. L.
Symptom intensity and subjective limitation to exercise in patients with cardiorespiratory disorders.
CHEST, 1996, 110, 5 ,1255-1263.
71. HARBER P., HSU P., PENA L.
Subject-based rating of hand-wrist stressors.
JOM, 1994, vol. 36, n° 1, 84-89.

72. HASSMEN P.
Perceptual and physiological responses to cycling and running in groups of trained and untrained subjects.
Eur. J. Appl. Physiol, 1990, 60, 445-451.
73. HASSMEN P., STAHL R., BORG G.
Psychophysiological responses to exercise in type A/B men.
Psychos. Med., 1993, 55, 178-184.
74. HAUSSWIRTH C., BRISSWALTER J., VALLIER J. M., SMITH D., LEPERS R.
Evolution of electromyographic signal, running economy, and perceived exertion during different prolonged exercises.
Int. J. Sports Med., 2000, 21, 429-436.
75. HELD T., MARTI B.
Substantial influence of level of endurance capacity on the association of perceived exertion with blood lactate accumulation.
Int. J. Sport Med., 1999, 20, 34-39.
76. HENRIKSSON J., KNUTTGEN H. G., BONDE-PETERSEN
Perceived exertion during exercise with concentric and eccentric muscle contractions
Ergonomics, 1972, vol. 15, n° 5, 537-544.
77. HETZLER R. K., SEIP R. L., BOUTCHER S. H., PIERCE E., SNEAD D., WELTMAN A.
Effect of exercise modality on ratings of perceived exertion at various lactate concentrations.
Med. Sci. Sports Exerc., 1991, vol. 23, n° 1, 88-92.
78. HILL D. W., CURETON K. J., GRISHAM S. C., COLLINS M. A.
Effect of training on the rating of perceived exertion at the ventilatory threshold
Eur. J; Appl. Physiol., 1987, 56, 206-211.
79. HOFFMAN M. D., CLIFFORD P. S., SNYDER A. C., O'HAGAN K. P.
MITTELSTADT S. W., ROBERTS M. M., DRUMMOND H. A., GASKILL S. E.
Physiological effects of technique and rolling resistance in uphill roller skiing.
Med. Sci. Sports Exerc., 1998, 311-317.
80. HULL G. R., POTTEIGER J. A.
Regulation of exercise intensity using ratings of perceived exertion during passive visual distraction.
Percept. Motor Skills, 1999, 89, 684-694.
81. JACOBSON B.H., WRIGHT T.
A field test comparison of hiking stick use on heartrate and ratings of perceived exertion.
Percept. Motor Skill, 1998, 87, 435-438.
82. JAKICIC J.M., DONNELLY J.E., PRONK N.P., JAWAD A.F., JACOBSEN D.J.
Prescription of exercice intensity for the obese patient: the relationship between heart rate, VO2 and perceived exertion.
Int. J. Obesity, 1995, 19, 382-387.
83. JANSSEN C. G. C., DOCTER H. J.
Quantitative subjective assessment of fatigue in static muscle effort.
Eur. J. Appl. Physiol., 1973, 32, 81-86.
84. JONES N. L., KILLIAN K. J.
Exercise limitation in health and disease.
New Eng. J. Med., 2000, vol. 343, 632-641.
85. JONES G. L., KILLIAN K. J., SUMMERS E., JONES N. L.
Inspiratory muscle forces and endurance in maximum resistive loading.
Am. Physiol. Soc., 1985, 1608-1615.
86. KANG J., CHALOUPKA E. C., MASTRANGELO M. A., DONNELLY M. S., MARTZ W. P. ROBERTSON R. J.
Regulating exercise intensity using ratings of perceived exertion during arm and leg ergometry.
Eur. J. Appl. Physiol., 1998, 78, 241-246.
87. KOHL R. M., SHEA C. H.
Perceived exertion: influences of locus of control and expected work intensity and duration.
J. Human Move. Stud., 1988, 15, 255-272.
88. KUMAR S., LECHELT E. C., NARAYAN Y., CHOUINARD K.
Metabolic cost and subjective assesment ofpalletizing and subsequent recovery.
Ergonomics, 2000, vol. 43, n° 6, 677-690.
89. LAMB K. L., ESTON R. G., CORNS D.
Reliability of ratings of perceived exertion during progressive treadmill exercise.
Br. J. Sports Med., 1999, vol. 33, n° 5, 336-339.

90. LARSSON B., BJORK J., ELERT J., GERDLE B.
Mechanical performance and electromyography during repeated maximal isokinetic shoulder forward flexions in female cleaners with and with out myalgia of the trapezius muscle and in healthy controls.
Eur. J. Appl. Physiol., 2000, 83, 257-267.
91. LOLLGEN H., ULMER H. V., NIEDING G. V.
Heart rate and perceptual response to exercise with different pedalling speed in normal subjects and patients.
Eur. J. Appl. Physiol., 1977, 37, 297-304.
92. LOLLGEN H., ULMER H. V., GROSS R., WILBERT G., NIEDING G. V.
Methodical aspects of perceived exertion rating and its relation to pedalling rate and rotating mass.
Eur. J. Appl. Physiol., 1975, 34, 205-215.
93. MAHON A. D., GAY J. A., STOLEN K. Q.
Differentiated ratings of perceived exertion at ventilatory threshold in children and adults.
Eur. J. Appl. Physiol, 1998, 18, 115-120.
94. MARKLIN R. W., WILZBACHER J. R.
Four assesment tools of ergonomics interventions: case study at an electric utility warehouse system.
Am. Ind. Hyg. Assoc. J., 1999, 60, 777-784.
95. MARSH A. P., MARTIN P. E.
Perceived exertion and the preferred cycling cadence.
Med. Sci. Sports Exerc., 1998, vol. 30, n° 6, 942-948.
96. McKINNON S. N.
Relating heart rate and rate of perceived exertion in two simulated occupational tasks.
Ergonomics, 1999, vol.42, n° 5, 761-766.
97. MEUNIER P.
Pour une modélisation des profils cardiaques de postes.
CAMIP, 2000, 4, 409- 416.
98. MEUNIER P., SMOLIK H-J., KNOCHE C.
Astreinte cardiaque et travail. Quelle grille d'évaluation choisir ?
CAMIP, 1994, 2, 153-158.
99. MEYER J-P.
La fréquence cardiaque, un indice d'astreinte physique ancien servi par une métrologie moderne.
Documents pour le médecin du travail, 1996, 4ème trimestre, n° 68, 315-322.
100. MEYER J-P.
Manutentions manuelles: quels indices d'astreinte choisir?
Revue de médecine du travail, 1995, tome XXII, n° 4, 158-161.
101. MEYER J-P., DIDRY G., HORWAT F.
Modèle de coût physiologique du transport de charges.
Le travail humain, 1987, tome 50, n° 1, 63-79.
102. MEYER J-P., FLENGHI D., TURPIN-LEGENDRE E.
Force maximale de préhension. Intérêts, méthode de recueil et valeurs de référence.
Archives des maladies professionnelles et de médecine du travail, 2001, 62, n° 6, 469-476.
103. MITAL A.
Maximum frequencies acceptable to males for one-handed horizontal lifting in the sagittal plane.
Human factors, 1983, 25, 563-571.
104. MITAL A., KUMAR G. M.
An evaluation of RPE scale for consistency in manual handling.
Advances in occupational ergonomics and safety I, 1996, 2 vol., 805-808.
105. MITAL A., FOONONI-FARD H., BROWN M. L.
Physical fatigue in high and very high frequency manual materials handling: perceived exertion and physiological indicators.
Human Factors, 1994, 36, 2, 219-231.
106. MITAL A., MANIVASAGAN I.
Subjective estimates of one-handed carrying tasks.
Appl. Ergonomics, 1983, 265-269.
107. De MONTMOLLIN M.
L'intelligence de la tâche - Eléments d'ergonomie cognitive (1ère édition).
Berne: Peter Lang S.A., 1984. - 1 vol., 186 p.
(Collection Sciences pour la Communication)

108.MONOD H., FLANDROIS R.
Physiologie du sport (4ème édition).
Paris: Masson, 1997. -1 vol., 270 p.
(Collection Les Abrégés de Médecine)
109.MONOD H., KAPITANIAK B.
Ergonomie (1ère édition).
Paris: Masson, 1999. -1 vol., 282 p.
(Collection Les Abrégés de Médecine)
110.MOREAU K. L., WHALEY M. H., ROSS J. H;, KAMINSKY L. A.
The effects of blood lactate concentration on perception of effort during graded and steady state treadmill exercise.
Int. J. Sports Med., 1999, 20, 269-274.
111.MORGAN W. P.
Utility of exertional perception with special reference to underwater exercise.
Int. J. Sport Psychol., 2001, 32, 137-161.
112.MULLER F.
Veridical scaling of the intensity of perceptions, feelings and emotions.
Advances in occupational ergonomics and safety, 1996, 2 vol., 793-804.
113.MYLES W. S., MACLEAN D.
A comparison of response and production protocols for assessing perceived exertion.
Eur. J. Appl. Physiol., 1986, 55, 585-587.
114.NIELENS H., BOISSET V., MASQUELIER E.
Fitness and perceived exertion in patients with fibromyalgia syndrome.
Clin. J. Pain, 2000, 16, 209-213.
115.NIELENS H., PLAGHKI L.
Perception of pain and exertion during exercise on a cycle ergometer in chronic pain patients.
Clin. J. Pain, 1994, vol.10, n° 3, 204-209.
116.NOBLE B.J., ROBERTSON R.J.
Perceived exertion (1ème édition).
USA: Champaign, Human Kinetics, 1996.- 1 vol., 321 p.
117.PANDOLF K. B.
Rated perceived exertion during exercise in the heat, cold or at a high altitude.
Int. J. Sport Psychol., 2001, 32, 162-176.
118.PANDOLF K. B., BILLINGS D. S., DROLET L. L., PIMENTAL N. A., SAWKA M.N.
Differentiated ratings of perceived exertion and various physiological responses during prolonged upper and lower body exercise.
Eur. J. Appl. Physiol., 1984, 53, 5-11.
119.PARFITT G., ESTON R.
Changes in ratings of perceived exertion and psychological affect in the early stages of exercise.
Percept. Motor Skills, 1995, 80, 259-266.
120.PENDER Nola-J., BAR-OR O., WILK B., MITCHELL S.
Self-efficacity and perceived exertion of girls during exercise.
Nursing Research, Mars/April 2002, vol. 51, n° 2, 86-91.
121.PINCIVERO D. M., GEAR W. S.
Quadriceps activation and perceived exertin during a high intensity, steady state contraction to failure.
John Wiley and sons, Inc. Muscle nerve, 2000, 23, 514-520.
122.POTTEIGER J. A., SCHROEDER J. M., GOFF K. L.
Influence of music on ratings of perceived exertion during 20 minutes of moderate intensity exercise.
Percept. Motor Skills, 2000, 91, 848-854.
123.POTTEIGER J. A., EVANS B. W.
Using heart rate and ratings of perceived exertion to monitor intensity in runners.
J. Sports Med. Phys. Fitness, 1995, 35, 181-186.
124.POTTEIGER J. A., WEBER S. F.
Rating of perceived exertion and heart rate as indicators of exercise intensity in different environmental temperatures.
Med. Sci. Sports Exerc., 1994, 791-796.
125.PURVIS J. W., CURETON K. J.
Ratings of perceived exertion at the anaerobic threshold.
Ergonomics, 1981, vol. 24, n° 4, 295-300.

126. RIDDELL M. C., BAR-OR O., GERSTEIN H. C., HEIGENHAUSER G. J. F.
Perceived exertion with glucose ingestion in adolescent males with IDDM.
Med. Sci. Sports Exerc., 2000, 167-173.
127. ROBERTSON R. J.
Exercise testing and prescription using RPE as a criterion variable.
Int. J. Sport Psychol., 2001, 32, 177-188.
128. ROBERTSON R. J.
Development of the perceived exertion knowledge base: an interdisciplinary process.
Int. J. Sport Psychol., 2001, 32, 189-196.
129. ROBERTSON R. J., MOYNA N. M., SWARD K. L., MILLICH N. B., GOSS F. L., THOMPSON P. D.
Gender comparison of RPE at absolute and relative physiological criteria.
Med. Sci. Sports Exerc., 2000, 2120-2129.
130. ROBERTSON R. J., STANKO R. T., GOSS F. L., SPINA R. J., REILLY J. J., GREENAWALT
Blood glucose extraction as a mediator of perceived exertion during prolonged exercise.
Eur. J. Appl. Physiol., 1990, 61, 100-105.
131. ROBERTSON R. J., CASPERSEN C. J., ALLISON T. G., SKRINAR G. S., ABBOTT R. A., METZ K. F.
Differentiated perceptions of exertion and energy cost of young women while carrying loads.
Eur. J. Appl. Physiol., 1982, 49, 69-78.
132. RUSSELL W.D., WEEKS D.L.
Attentional style in ratings of perceived exertion during physical exercise.
Percept. Motor Skills, 1994, 78, 779-783.
133. RYS M., KONZ S.
Absolute vs Relative Rating.
Advances in occupational ergonomics and safety, 1996, 2 vol., 788-792.
134. SAGIV M., BAR-ELI M., BEN-SIRA D.
Perceptualresponses to exercise: the effect of load-awareness on physiological responses during an isometric bout.
Int. J. Sports Med., 1999, 20, 44-47.
135. SALDANA N., HERRIN G. D., AMSTRONG T. J., FRANZBLAU A.
A computerized method for assessment of musculoskeletal discomfort in the workforce: a tool for surveillance.
Ergonomics, 1994, vol. 37, n° 6, 1097-1112.
136. SARGEANT A. J., DAVIES C. T. M.
Perceived exertion during rhythmic exercise involving different muscle masses.
J. Human Ergol., 1973, 2, 3-11.
137. SCHIBYE B., SOGAARD K., MARTINSEN D., KLAUSEN K.
Mechanical load on the load back and shoulders during pushing and pulling of two-wheeled waste containers compared with lifting and carrying of bags and bins.
Clin. Biomechanics, 2001, 16, 549-559.
138. SCOTT P.A.
The rating of perception of exertion in a multi-ethnic society: a review of the problem and some preliminary solutions.
Ergonomics Soc. South African, 1985, 5-6, 2, 1-4.
139. SHEPHARD R. J., KAVANAGH T., MERTENS D. J., YACOUB M.
The place of perceived exertion ratings in exercise prescription for cardiac transplant patients before and after training.
Br. J. Sports Med., 1996, 30, 116-121.
140. SJOGAARD G., SAVARD G., JUEL C.
Muscle blood flow during isometric activity and its relation to muscle fatigue.
Eur. J. Appl. Physiol., 1988, 57, 327-335.
141. SMUTOK M. A., SKRINAR G. S., PANDOLF K. B.
Exercise intensity: subjective regulation by perceived exertion.
Arch. Phys. Med. Rehabil., 1980, 61, 569-574.
142. SPARROW W. A., HUGHES K. M., RUSSEL A. P., LE ROSSIGNOL P. F.
Effects of practice and prefered rate on perceived exertion, metabolic variables and movement control.
Human Move. Sci., 1999, 18, 137-153.
143. SPIELHOLZ P., SILVERSTEIN B., MORGAN M., CHECKOWAY H., KAUFMAN J.
Comparison of self-report, video observation and direct measurement methods for upper extremity musculoskeletal disorder physical risk factors.
Ergonomics, 2001, vol. 44, n° 6, 588-613.

144. STAL M., MORITZ U., GUSTAFSSON B., JOHNSSON B.
Milking is a high-risk job young females.
Scand. J. Rehab. Med., 1996, 28, 95-104.
145. STAMFORD B. A.
Validity and reliability of subjective ratings of perceived exertion during work
Ergonomics, 1976, vol. 19, n° 1, 53-60.
146. STEED J., GAESSER G. A., WELTMAN A.
Rating of perceived exertion and blood lactate concentration during submaximal running.
Med. Sci. Sports Exerc., 1994, vol. 26, n° 6, 797-803.
147. STENBERG J., ASTRAND P.-O., EKBLOM B., ROYCE J., SALTIN B. Hemodynamic Response to work with Different Muscle Groups in Sitting and Supine.
J. Appl. Physiol., 1967, 22, 61. In: Astrand P.-O., Rodahl K. Précis de physiologie de l'exercice musculaire, 3ème édition, Paris, Masson, 1994, 131-132.
148. STENBERG J., EKBLOM B., MESSIN R.
Hemodynamic response to work at simulated altitude, 4000 m.
J. Appl. Physiol., 1996, 21, 1589. In: Astrand P.-O., Rodahl K. Précis de physiologie de l'exercice musculaire, 3ème édition, Paris, Masson, 1994, 131-132.
149. STEPHENS D. E., JANZ K. F., MAHONEY L. T.
Goal orientation and ratings of perceived exertion in graded testing of adolescents.
Percept. Motor Skills, 2000, 90, 813-822.
150. STEVENS S.S.
On the psychophysical law.
Psych. Rev., 1957, 64, 153-181.
151. STOUDEMIRE N. M., WIDEMAN L., PASS K. A., McGINNES C. L., GAESSER G. A., WELTMAN A.
The validity of regulating blood lactate concentration during running by ratings of perceived exertion.
Med. Sci. Sports Exerc., 1996, 490-495.
152. STRAKER L. M., STEVENSON M. G., TWOMEY L. T.
A comparison of risk assesment of single and combination manual tasks: 2. Discomfort, rating of perceived exertion and heart rate measures.
Ergonomics, 1997, vol.40, n° 6, 656-669.
153. SYLVA M., BYRD R., MANGUM M.
Effects of social influence and sex on rating of perceived exertion in exercising elite athletes.
Percept. Motor Skills, 1990, 70, 591-594.
154. SZMEDRA L., BACHARACH D. W.
Effect of music on perceived exertion, plasma lactate, norepinephrine and cardiovascular hemodynamics during treadmill running.
Int. J. Sports Med., 1998, 19, 32-37.
155. THIVIERGE M., LEGER L.
Validité des cardiofréquencemètres.
Sci. Sports, 1988, 3, 211-221.
156. THOMAS T. R;, ZIOGAS G., SMITH T., ZHANG Q., LONDEREE B. R.
Physiological and perceived exertion responses to six modes of submaximal exercise.
Research quartely for exercise and sport, 1995, vol. 66, n° 3, 239-246.
157. TOMPOROWSKI P. D.
Men's and women's perceptions of effort during progressive-resistance strength training.
Percept. Motor Skills, 2001, 92, 368-372.
158. TRAVLOS A. K., MARISI D. Q.
Perceived exertion during physical exercise among individuals high and low in fitness.
Percept. Motor Skills, 1996, 82, 419-424.
159. TURPIN-LEGENDRE E., MEYER J-P.
Mise au point de batteries de tests pour évaluer les capacités fonctionnelles du membre supérieur d'une population de salariés.
Documents pour le médecin du travail, 2000, 1er trimestre, n° 81, 21-30.
160. UEDA T., KUROKAWA T.
Relationships between perceived exertion and physiological variables during swimming.
Int. J. Sports Med., 1995, 16, 385-389.
161. ULIN S. S., WAYS C. M., ARMSTRONG T. J., SNOOK S. H.
Perceived exertion and discomfort versus work height with a pistol-shaped screwdriver.
Am. Ind. Hyg. Assoc. J., 1990, 51, 588-594.

162. UTTER A. C., KANG J., NIEMAN D. C., WILIAMS F., ROBERTSON R. J., HENSON D. A., DAVIS J. M., BUTTERWORTH D. E.
Effect of carbohydrate ingestion and hormonal responses on ratings of perceived exertion during prolonged cycling and running.
Eur. J. Appl. Physiol., 1999, 80, 92-99.
163. VARGHESE M. A., SAHA P. N., ATREYA N.
A rapid appraisal of occupational workload from a modified scale of perceived exertion.
Ergonomics, 1994, vol. 37, n° 3, 485-491.
164. VILLIGER B., EGGER K., LERCH R., PROBST H.P., SCHNEIDER W., SPRING H., TRITSCHLER T.
R-Gym. L'endurance. Théorie et pratique (1ème édition).
Paris: Masson, 1992.- 1 vol., 260 p.
165. WALKER W. C.,CIFU D. X., GARDNER M., KEYSER-MARCUS L.
Functional assessment in patients with chronic pain.
Am. J. Phys. Med. Rehabil., 2001, vol. 80, n° 3, 162-168.
166. WARDLE M. G.
A psychophysical approach to estimating endurance in performing physically demanding work.
Human factors, 1978, 20, 745-747.
167. WATT B., GROVE R.
Perceived exertion: antecedents and applications.
Sports Med., 1993, 15, 225-241.
168. WENOS D. L., WALLACE J. P., SURBURG P. R., MORRIS H. H.
Reliability and comparison of RPE during variable and constant exercise protocols performed by older women.
Int. J. Sports Med., 1996, 17, 193-198.
169. WHITE V. B., POTTEIGER J. A.
Comparison of passive sensory stimulations on RPE during moderate intensity exercise.
Percept. Motor Skills, 1996, 82, 819-825.
170. WILLIAMS J. G., PUREWAL R. S.
Development and initial validation of the effort sense rating scale (ESRS): a self-perceived index of physical fitness.
Preventive Medicine, 2001, 32, 103-108.
171. WILLIAMSON J. W., Mc COLL R., MATHEWS D., MITCHELL J. H., RAVEN P. B., MORGAN W. P.
Hypnotic manipulation of effort sense during dynamic exercise: cardiovascular responses and brain activation.
J. Appl. Physiol., 2001, 90, 1392-1399.
172. WOLDSTAD J. C., Mc MULKIN M. L., BUSSI C. A.
Forces applied to large hand wheels.
Appl. Ergonomics, 1995, vol. 26, n° 1, 55-60.
173. YATES J. W., ANDERSON G., HOWEY W.
Effects of high frequency lifting on blood lactate and oxygen consumption.
Advances in Industrial Ergonomics and Safety, 1993, 217-224.
174. ZBROZYNA A., WESTWOOD D.
Habituation and recovery of vascular responses in calf and forearm and of the level of pain sensation during the cold pressor test in man.
Eur. J. Appl. Physiol., 1990, 61, 106-111.
175. ZENI A. I., HOFFMAN M. D., CLIFFORD P. S.
Energy expenditure with indoor exercise machines.
JAMA, 1996, vol. 275, n° 18, 1424-1427.
176. ZENI A., HOFFMAN M. D., CLIFFORD P. S.
Relationships among heart rate, lactate concentration, and perceived effort for different types of rhythmic exercise in women.
Arch. Phys. Med. Rehabil., 1996, 77, 237-241.

ANNEXES

Annexe 1
Modèle de l'échelle de Borg CR10 utilisé lors des 2 études en laboratoire et sur le terrain.

Annexe 2
Modèle de l'échelle RPE simplifiée utilisée par Groslambert et al. (2001) chez les enfants qui ne savent pas encore lire et/ou qui ne maîtrisent pas encore le langage écrit, c'est l'échelle RPE-C (C pour Child) (*68*).

Annexe 3
Dernière version de l'échelle de Borg CR10 (*12*).

Annexe 4
Dernière version de l'échelle RPE (*12*).

Annexe 5
Traductions françaises proposées par Meyer (*100*, *101*) pour l'échelle RPE et le CR10.

Annexe 6
Présentation des 7 tests de l'expérience de laboratoire.

Annexe 7
Illustrations photographiques des postes de désossage et de parage dans l'abattoir de porc.

Annexe 1 CR10 utilisé

0	rien
0,5	très très léger
1	très léger
2	léger
3	modéré
4	un peu dur
5	dur
6	
7	très dur
8	
9	
10	extrêmement dur

Annexe 2

R.P.E.-C

20



19

18



17

16



15

14



13

12



11

10



9

8



7

6

Annexe 3 CR10 dans sa forme actuelle (Borg 1998)

0	Nothing at all	0	rien du tout
0,3		0,3	
0,5	Extremely weak	0,5	extrêmement faible
1	Very weak	1	très faible
1,5		1,5	
2	Weak	2	faible
2,5		2,5	
3	Moderate	3	modéré
4		4	
5	Strong	5	fort
6		6	
7	Very strong	7	très fort
8		8	
9		9	
10	Extremely strong	10	extrêmement fort
11		11	
ϟ		ϟ	
●	Absolute maximum	●	maximum absolu

Annexe 4 RPE dans sa forme actuelle (Borg 1998)

6	No exertion at all	6	aucun effort
7	Extremely light	7	extrêmement léger
8		8	
9	Very light	9	très léger
10		10	
11	Light	11	léger
12		12	
13	Somewhat hard	13	un peu dur
14		14	
15	Hard (heavy)	15	dur
16		16	
17	Very hard	17	très dur
18		18	
19	Extremely hard	19	extrêmement dur
20	Maximal exertion	20	effort maximal

Annexe 5 Traductions françaises du CR10 et du RPE *(100, 101)*

A

0	rien
0,5	très très léger
1	très léger
2	léger
3	modéré
4	un peu dur
5	dur
6	
7	très dur
8	
9	
10	extrêmement dur

B

6	
	très très léger
8	
	très léger
10	
	juste bien
12	
	un peu dur
14	
	dur
16	
	très dur
18	
	très très dur
20	

Annexe 6

Présentation des 7 tests de l'expérience de laboratoire

La photo 1 correspond à l'exercice des bras sur ergocycle en laboratoire pour déterminer la VO_2 max.

Les photos 2 à 8 correspondent à la batterie des 7 tests en laboratoire.

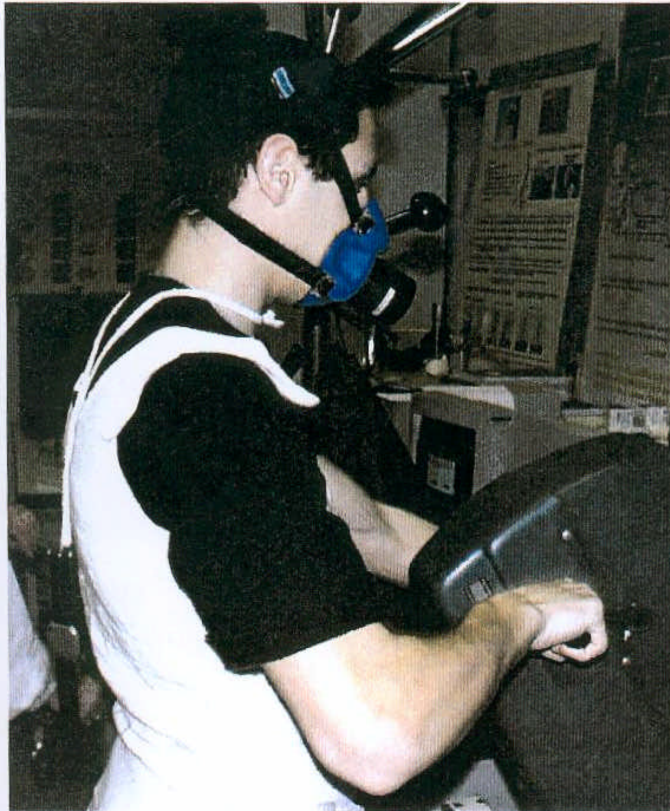


Photo 1. Estimation de la VO_2 max par le travail des bras sur ergocycle à 4 puissances successives avec recueil des gaz expirés (O_2 et CO_2) par un spiromètre portable type K4 (Cosmed*).
Ces mesures ont été effectuées par le Laboratoire de Physiologie du Travail de l'I.N.R.S. sous la responsabilité de Monsieur le Docteur Jean-Pierre Meyer.

Photos de la batterie des 7 tests en laboratoire

Les photos sont numérotées de 2 à 8 et correspondent respectivement aux tests de la pince digitale, préhension palmaire, flexion de l'avant-bras, extension de l'avant-bras, abduction de l'épaule, flexion de l'épaule et extension de l'épaule.
Les photos sont prises par le Laboratoire de Physiologie du Travail de l'I.N.R.S. sous la responsabilité de Monsieur le Docteur Jean-Pierre Meyer.

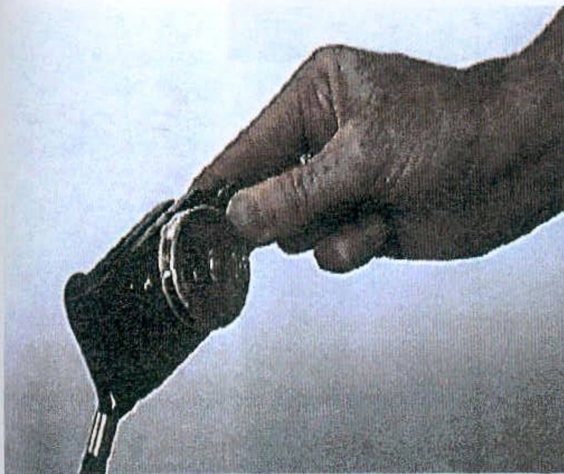


Photo 2. Pince digitale

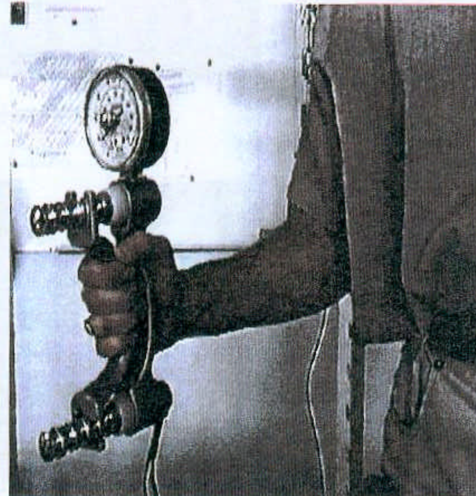


Photo 3. Préhension palmaire (Préh)

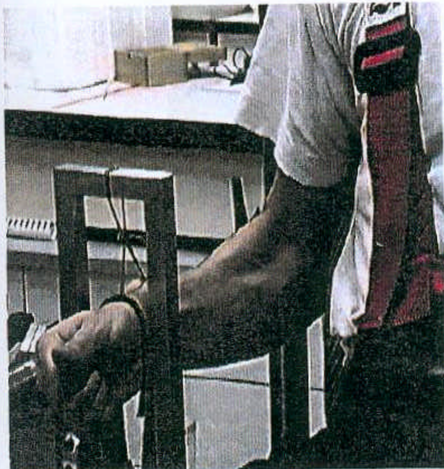


Photo 4. Flexion de l'avant-bras (Favb)

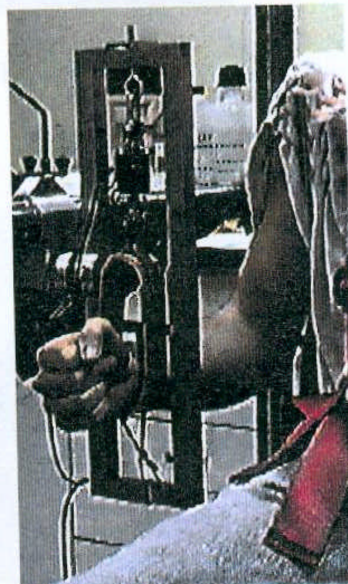


Photo 5. Extension de l'avant-bras (Eavb)

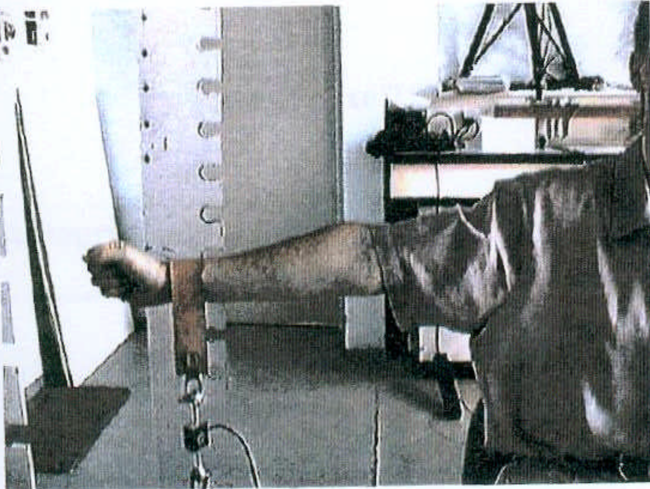


Photo 6. Abduction de l'épaule (Aep)

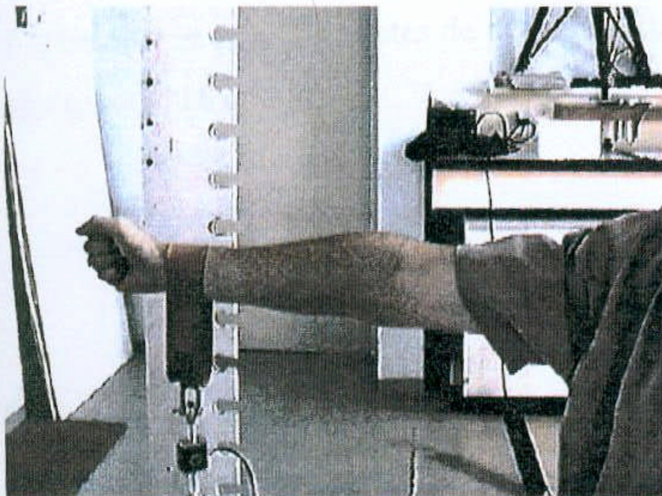


Photo 7. Flexion de l'épaule (Fep)

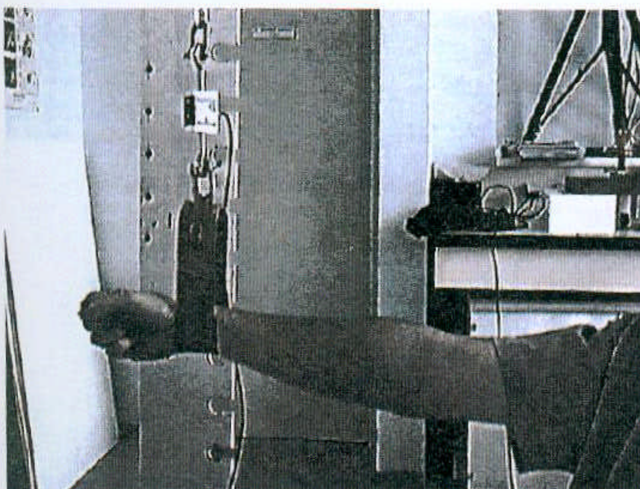


Photo 8. Extension de l'épaule (Eep)

Annexe 7

Illustrations photographiques des postes de désossage et de parage dans l'abattoir de porc

Les photos sont numérotées de 9 à 20 et correspondent à l'affilage des couteaux avec le "clic-clac" (photos 9 et 10), aux postes de désossage (photos 11 à 15) et aux postes de parage (photos 16 à 20).



Photo 9. L'opératrice au premier plan est en train d'aiguiser son couteau avec un "clic-clac". Il arrive fréquemment que certaines opérateurs aiguisent leur couteau jusqu'à 1 à 2 fois par minute (*).

(*) Claudon et Guiguet (2002) ont estimé la fréquence moyenne d'affilage des couteaux aux postes de désossage à 155 fois par jour et aux postes de parage à 491 fois par jour. Ils ont estimé chez certains opérateurs de la filière viande (bovin, porcin, volaille) des fréquences d'affilage allant de 3 fois à 2880 fois par jour.
Source : Claudon L., Guiguet C. (2002). Analyses ergonomiques pour la conception d'outils à main : point de vue et observation des utilisateurs de couteaux dans les abattoirs et ateliers de découpe. Article soumis pour publication dans la revue "Le Travail Humain".



Photo 10. Vue en gros plan du "clic-clac". Le "clic-clac" est un système d'affilage des couteaux à broches croisées. La bonne procédure est de passer la lame bien perpendiculairement dans la fente du "clic-clac" au risque sinon d'altérer la qualité du tranchant et donc d'augmenter les contraintes mécaniques liées à la coupe (*).

(*) La durée moyenne d'affilage est de 2,9 secondes si un système de broches croisées est utilisé et de 6,7 secondes quand l'affilage est réalisé au moyen d'un fusil.
Source : Claudon L., Guiguet C. (2002). Analyses ergonomiques pour la conception d'outils à main : point de vue et observation des utilisateurs de couteaux dans les abattoirs et ateliers de découpe. Article soumis pour publication dans la revue "Le Travail Humain".



Photo 11. Poste de désosseur de pièce de poitrine à l'aide d'un outil mécanique



Photo 12. Poste de désossage de pièce de jambon.
La prise du couteau dite poignard est nécessaire pour exécuter cette partie de la tâche (*).

(*) Cette position dite poignard peut se faire avec le tranchant de la lame ou le dos de la lame orienté vers le corps de l'opérateur. Les désosseurs de la filière viande travaillent à plus de 90 % du temps le couteau tenu en position dite poignard.
Source : Claudon L., Guiguet C. (2002). Analyses ergonomiques pour la conception d'outils à main : point de vue et observation des utilisateurs de couteaux dans les abattoirs et ateliers de découpe. Article soumis pour publication dans la revue "Le Travail Humain".

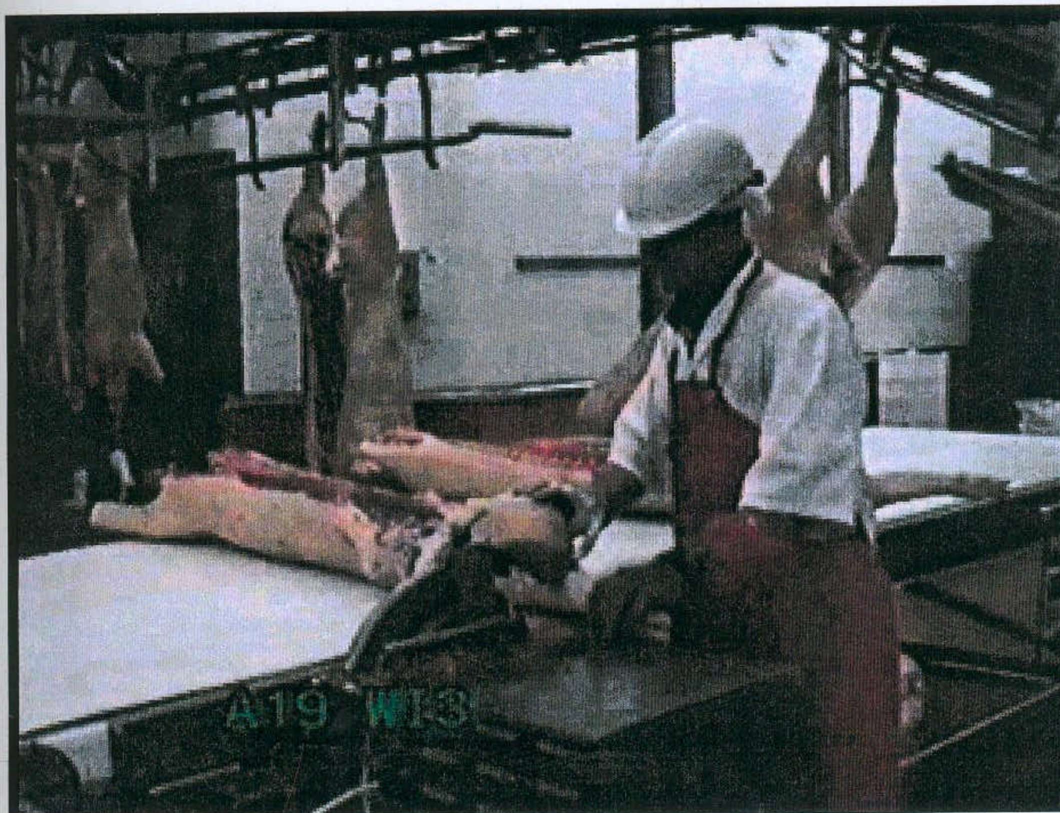


Photo 13. L'opérateur au poste de désosseur est en train de découper le pied de porc à l'aide d'une scie électrique.

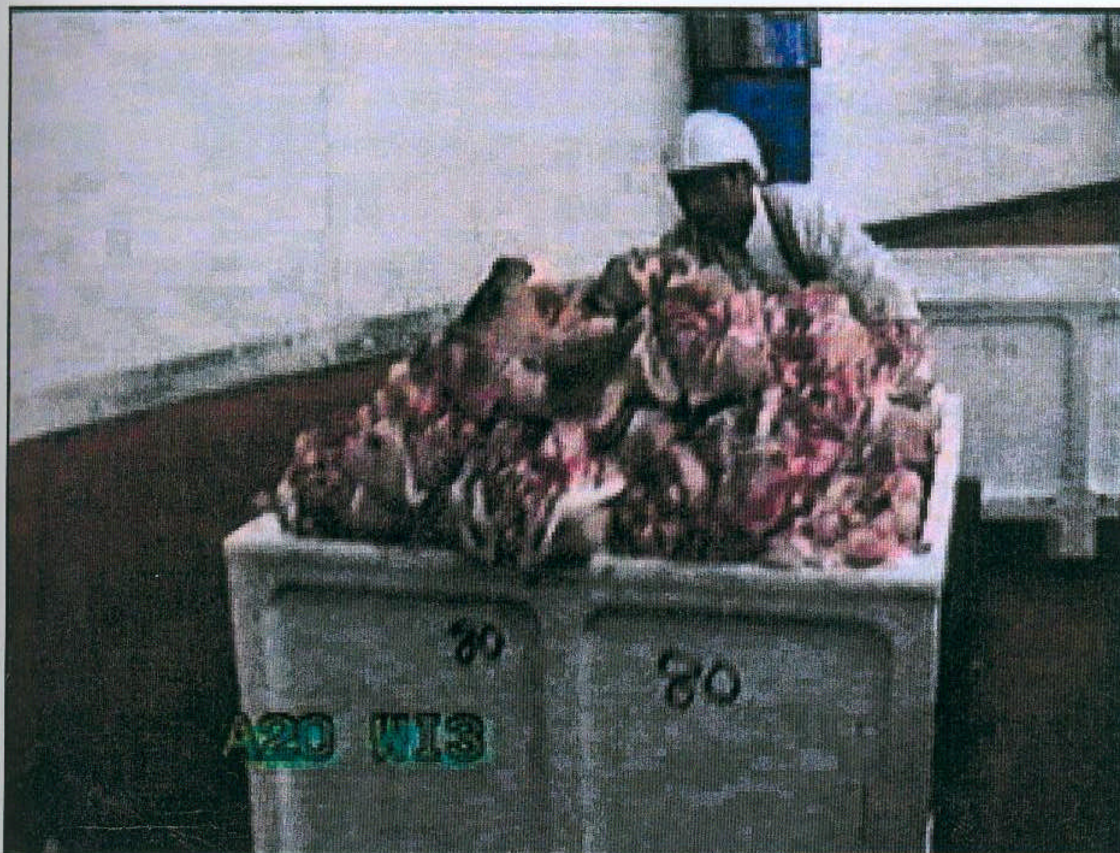


Photo 14. C'est le même opérateur que sur la photo 13. Son poste comprend également des phases d'activité à forte contrainte physique. Ici, la manutention manuelle de charge lourde (quelques centaines de kilos) par la poussée d'un chariot rempli de viande sur une distance d'environ 20 mètres.

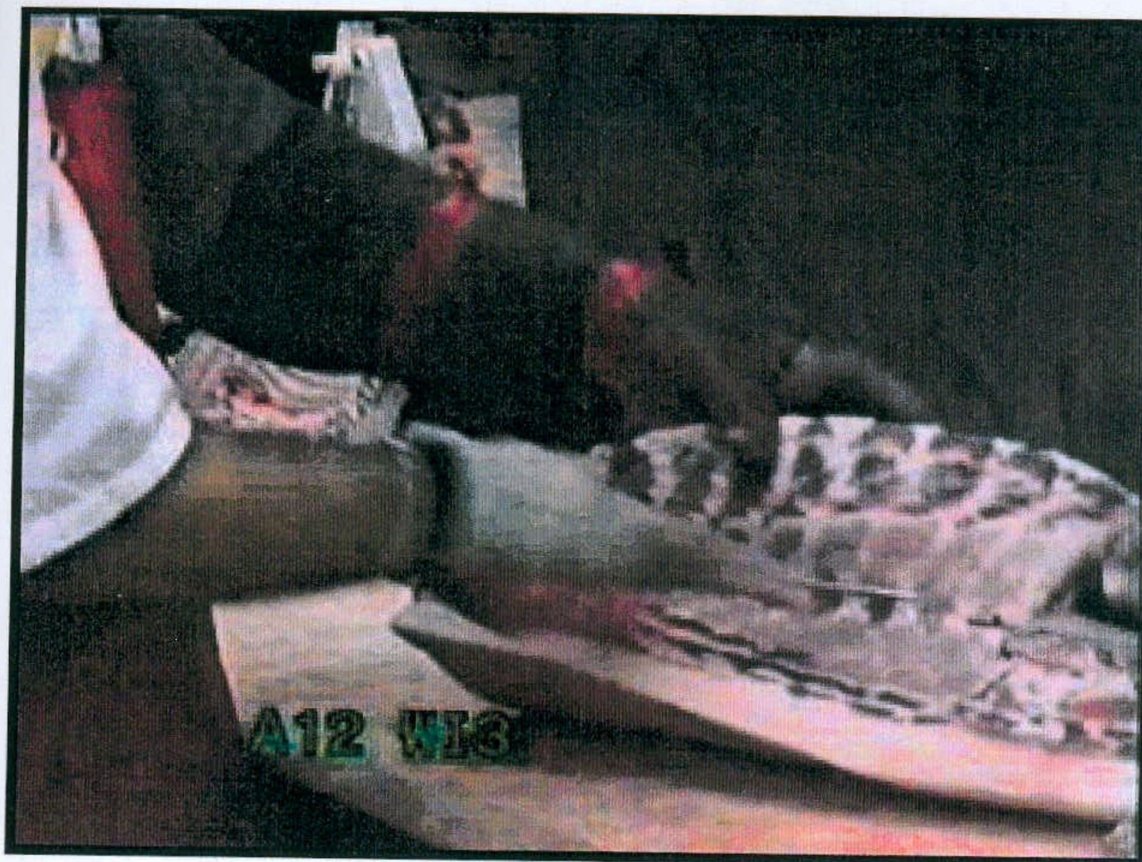


Photo 15. L'opérateur est entrain de désosser une pièce de poitrine, la partie maintenue par la main gauche est du carré.



Photo 16. L'opérateur est en train de parer une pièce de viande. Le geste doit être sûr, un faux mouvement risque d'entraîner des risques de coupure malgré les protections par de la cotte de maille. Le poignet adopte également des positions extrêmes (*).

(*) Le tranchant du couteau peut être orienté vers l'utilisateur, vers son opposé ou vers le plan du travail. 85 % des opérateurs de la filière viande déclarent avoir eu au moins un accident (ou une blessure) en utilisant un couteau.
Source : Claudon L., Guiguet C. (2002). Analyses ergonomiques pour la conception d'outils à main : point de vue et observation des utilisateurs de couteaux dans les abattoirs et ateliers de découpe. Article soumis pour publication dans la revue "Le Travail Humain".



Photo 17. L'opérateur est en train de parer une pièce de poitrine de porc. Les 2 mains travaillent et une autre façon de tenir le couteau (*).

(*) La position traditionnelle se fait avec l'index positionné sur la lame ou encore la main partiellement positionnée sur la lame en position traditionnelle ou poignard.
Source : Claudon L., Guiguet C. (2002). Analyses ergonomiques pour la conception d'outils à main : point de vue et observation des utilisateurs de couteaux dans les abattoirs et ateliers de découpe. Article soumis pour publication dans la revue "Le Travail Humain".

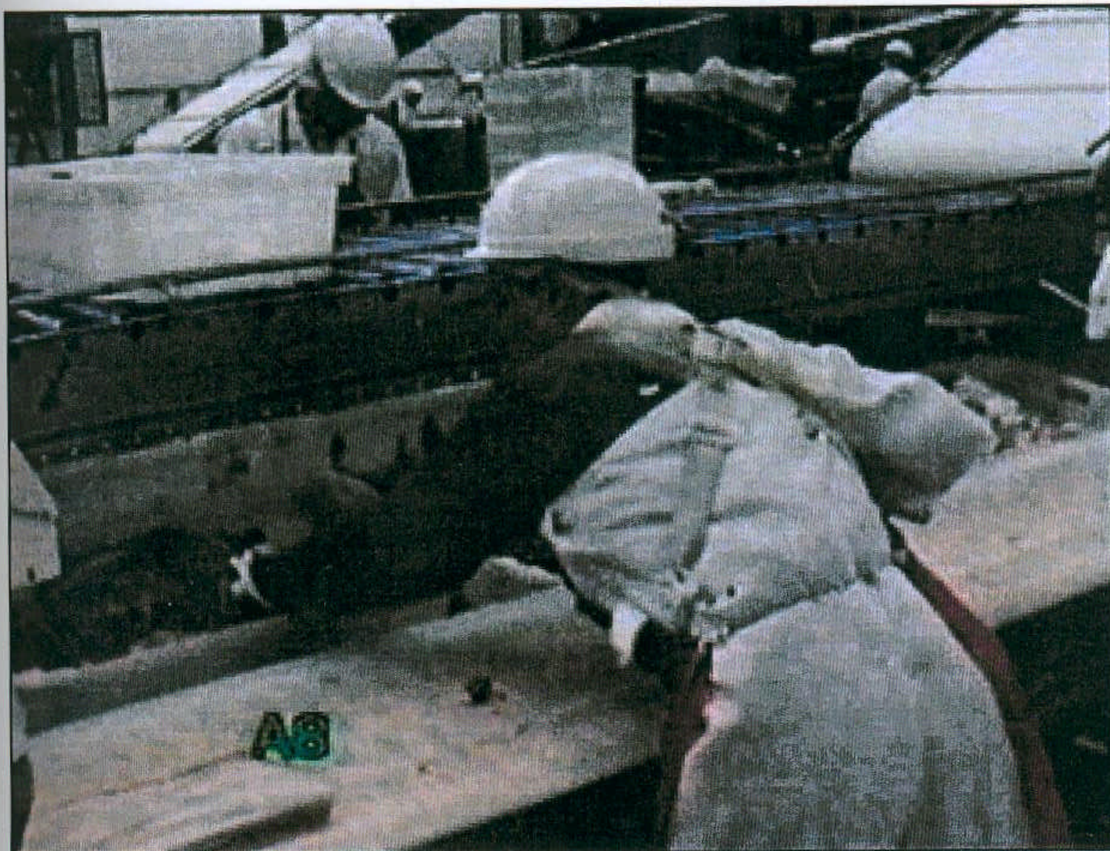


Photo 18. Jeune femme travaillant à la ligne des pareurs.
Les contraintes posturales avec buste antéfléchi sont fréquentes associées à la manutention manuelle de charge lourde régulière lors des pesées des pièces de poitrine (*).

(*) Ainsi, tous les opérateurs de la filière viande travaillent debout en permanence et 56 % en position "debout dos penché". 83 % reconnaissent ressentir parfois ou souvent des douleurs pendant le travail. Les 3 localisations les plus fréquemment citées sont respectivement le poignet (51 %), l'épaule (32 %) et la main (13 %).
Source : Claudon L., Guiguet C. (2002). Analyses ergonomiques pour la conception d'outils à main : point de vue et observation des utilisateurs de couteaux dans les abattoirs et ateliers de découpe. Article soumis pour publication dans la revue "Le Travail Humain".

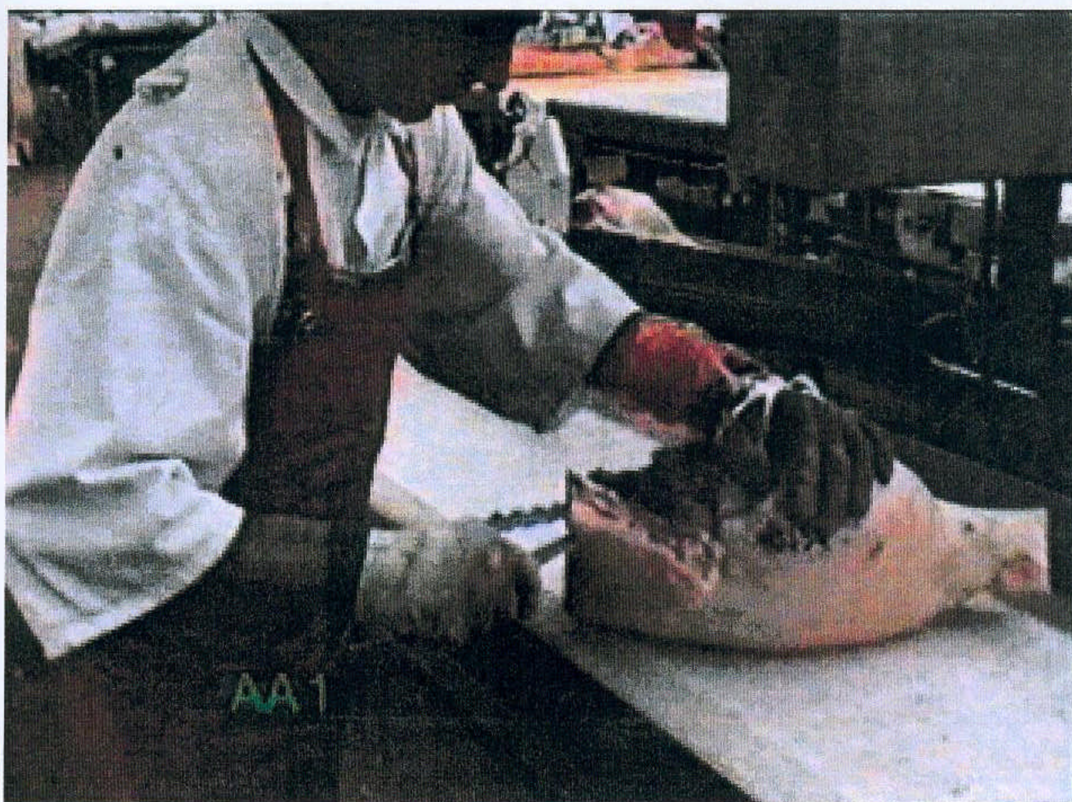


Photo 19. L'opérateur est en train de parer une pièce de jambon.



Photo 20. Sur cette ligne de production des pareurs, l'opératrice est en train d'égaliser les pièces de poitrine.

VU

NANCY, le **23 septembre 2002**
Le Président de Thèse

Professeur **G. PETIET**

NANCY, le **24 septembre 2002**
Le Doyen de la Faculté de Médecine

Professeur **J. ROLAND**

AUTORISE À SOUTENIR ET À IMPRIMER LA THÈSE

NANCY, le **30 septembre 2002**

LE PRÉSIDENT DE L'UNIVERSITÉ DE NANCY 1

Professeur **C. BURLET**

RÉSUMÉ

La charge de travail peut être évaluée de différentes façons. Des méthodes objectives (pression artérielle et fréquence cardiaque) et/ou subjectives (échelle de Borg CR10) ont été utilisées tant en laboratoire que sur le terrain.
L'étude en laboratoire quantifie les astreintes cardiovasculaires et subjectives développées par 30 sujets jeunes (15 femmes et 15 hommes) au cours de 7 tests d'endurance statique appliqués à différents groupes musculaires du membre supérieur dominant. Les paramètres objectifs et subjectifs augmentent linéairement au cours des tests jusqu'à leur maximum. Les coûts cardiaque et tensionnel maxima sont respectivement de 20 à 36 bpm et de 22 à 33 mm Hg. Le coût subjectif est de 10 sur l'échelle de Borg.
L'étude de terrain s'est effectuée dans un abattoir de porcs. Les astreintes subjectives recueillies pendant 5 moments prédéfinis des 8 heures de travail sont associées à un enregistrement vidéo pour l'étude des postes de 11 désosseurs et de 10 pareurs (7 femmes et 14 hommes). Les résultats ont permis de préciser les plaintes des salariés, les postes ressentis comme les plus pénibles et l'effet "fatigue" au cours de la journée.
Dans ces 2 études, la comparaison de données objectives et subjectives, permet d'appréhender les intérêts et les limites des échelles de Borg comme méthode d'évaluation ergonomique de la charge de travail.

Abstract
Workload may be estimated by many ways. For the purpose of this study, objective (blood pressure and heart rate) and/or subjective (Borg's CR10 scale) have been used in laboratory and in factory studies.
The laboratory study quantifies cardiovascular and subjective strains developped by 30 young subjects (15 females and 15 males) during 7 different static endurance's tests of the upper limb. Objective and subjective parameters increased linearly throughout the test to their maxima. The cardiac and blood pressure maximal costs were respectively from 20 to 36 bpm and from 22 to 33 mmHg. The subjective cost was 10 for the Borg CR10 scale.
The field study was made in a pig slauterhouse. The subjective strains were recorded at 5 moments of the 8 hours workday. Activity and video recordings were done to study the task of 11 "boneman" and 10 "fatremovers" (7 females and 14 males). The results of this study have allowed to specify the complaints of the workers, to classify the task strains and the effet "tiredness" throughout the workshift.
The comparison of the objective and subjective results of the field and laboratory studies demonstrates the interests and limits of the Borg's scales as an ergonomic workload assessment's tool.

Key words : perceived exertion, Borg's scales, cardiovascular strains, endurance's tests, field study, ergonomic.

Interests and limits of the Borg's scales as a workload assessment tool.

THÈSE : MÉDECINE SPÉCIALISÉE - ANNÉE 2002

MOTS CLÉS :
EFFORT PERÇU / ÉCHELLES DE BORG / ASTREINTES CARDIOVASCULAIRES / TESTS D'ENDURANCE / ÉTUDE DE TERRAIN / ERGONOMIE

FACULTÉ DE MÉDECINE DE NANCY
9, avenue de la Forêt de Haye
B.P. 184
54505 - VANDOEUVRE-LÈS-NANCY CEDEX